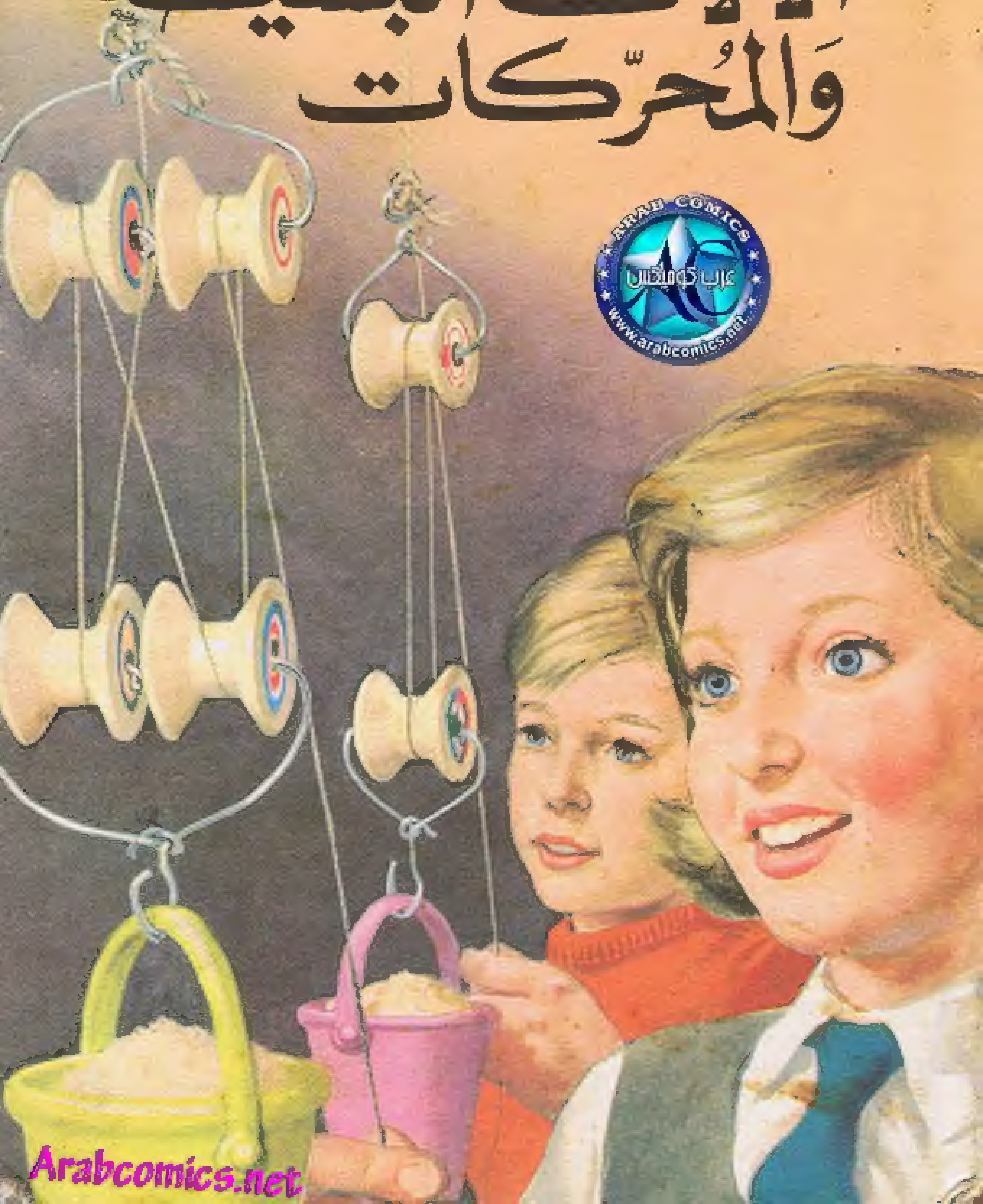
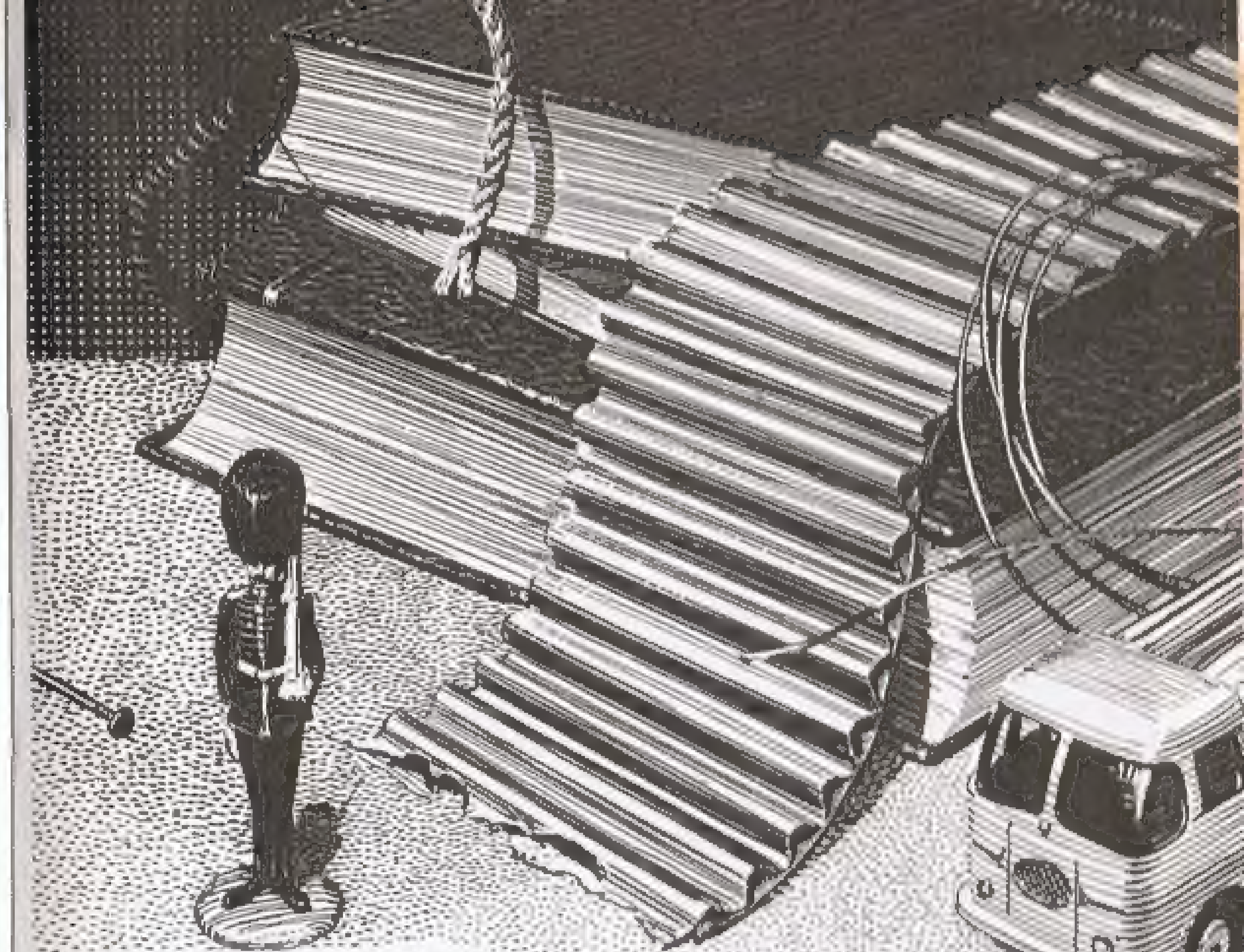
سلسلة العلوم المبسّطة

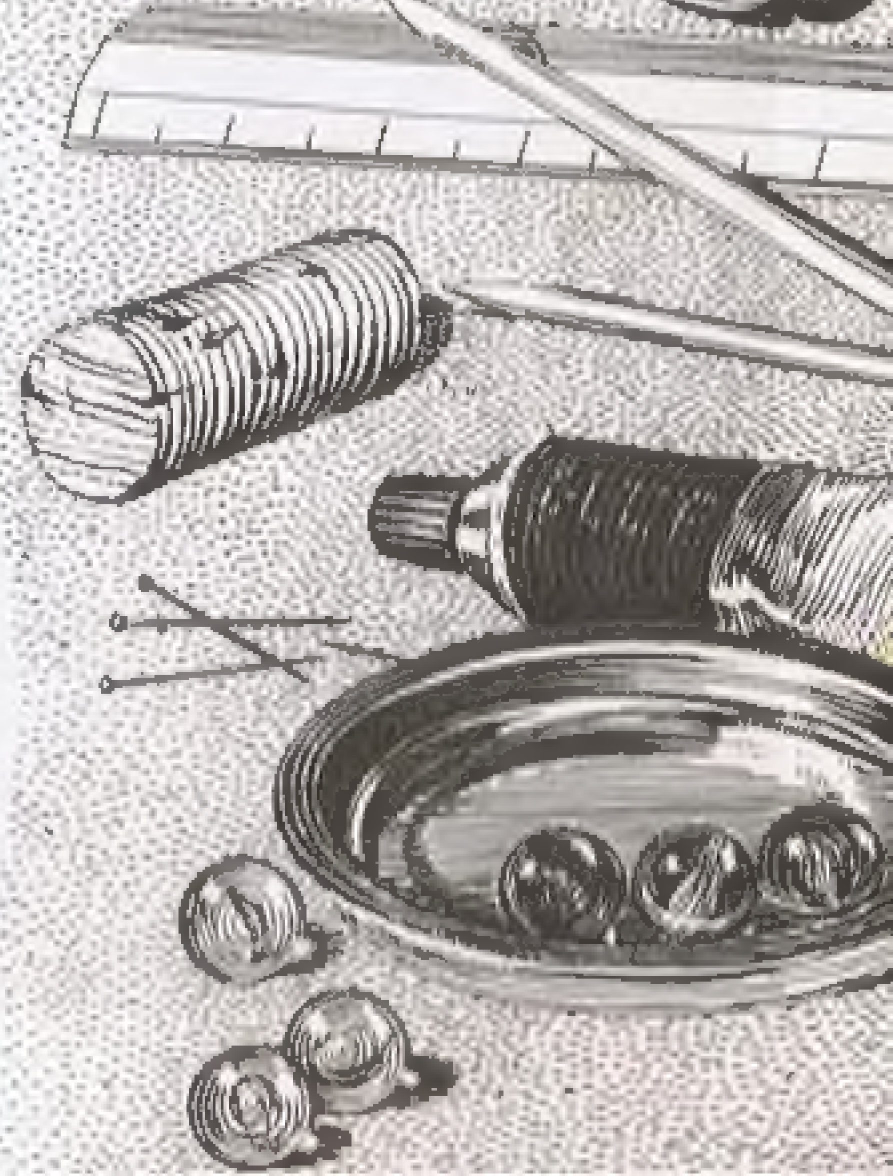
الآلاتُ البسيطَة وَالمُحرّكات

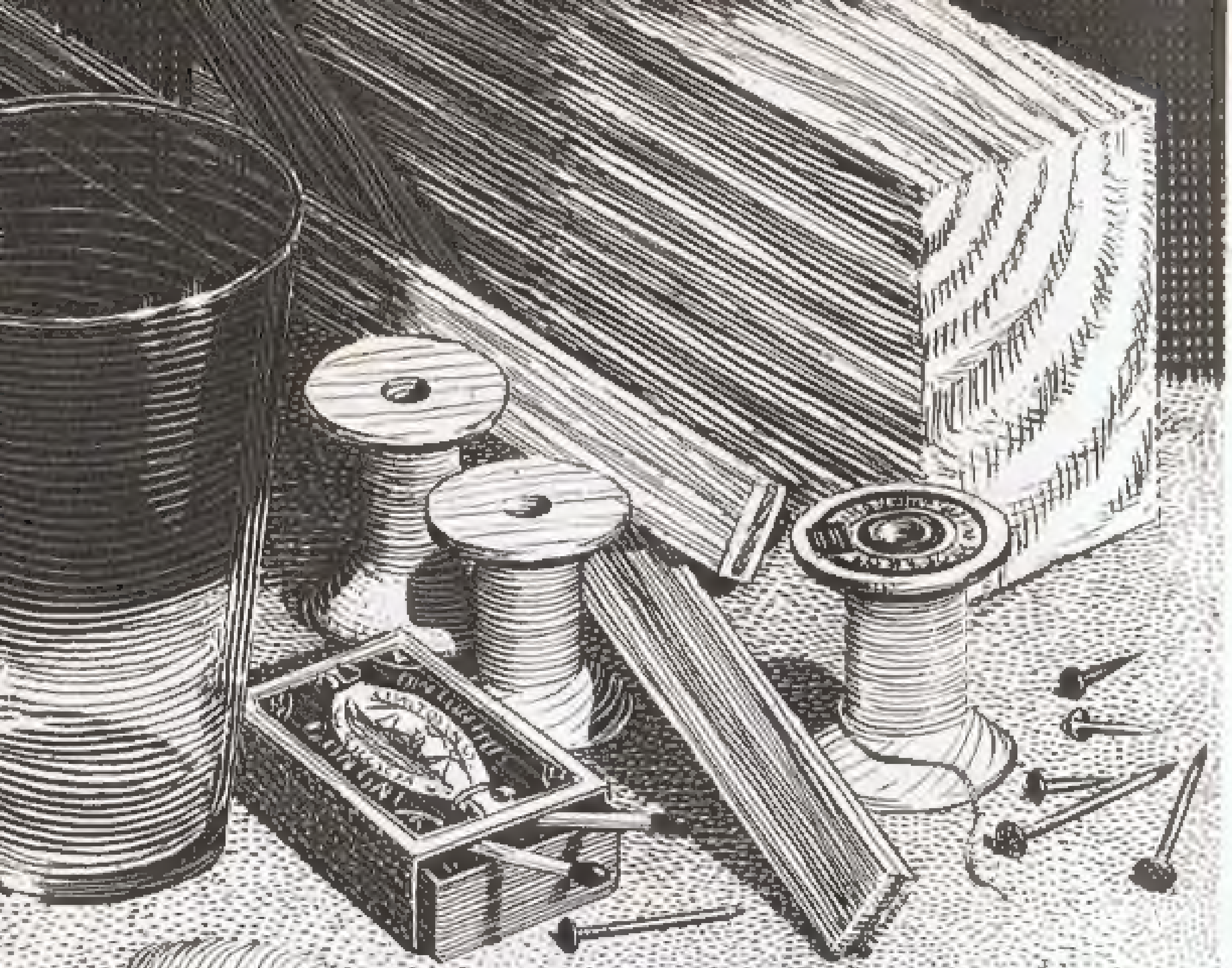




إليكَ قائمةٌ بالأشياءِ التي تلزمُكَ لإجراءِ الاختباراتِ في هذا الكتابِ . ولعلَّ مُعظمَها متوافرٌ لديكَ حاليًا .

مِسْطَرة
كُتُب
أقلامٌ أسطوانيّة
عُلْبةُ ثِقاب
طينٌ لدائنيٌّ (بلاستيسين)
قِطعُ نَقدٍ معدنيّة
دبابيس
إبرةُ حِياكة
إبرةُ رَفْو
سِدادات فلّينيّة
كُؤوس أوْ أكواب
بكرةٌ (أوْ مِكبٌّ) خيوط
حبّات مِنَ الأرُزّ





كُللٌ أوْ كُرَيّاتٌ زُجاجيّة
أغطيةُ عُلبٍ معدنيّةٌ
بكرةٌ وخُيوطٌ متينة
كُتلةٌ وشرائحُ خشبيّةٌ
جُنديٌّ دُمْيَة
مِكبّاتُ خُيوطٍ فارغة
سَفُّودانِ خشبيّان
مَسامير
سِلكٌ لَيِّنٌ
خُيوط ودُوبارة (خَيْطٌ متين)
عُلبٌ مُستديرة (أسطوانيّة)
وَرَقُ كَرْتونٍ مُمَوَّج
وَرَقُ لَعِب
طابةُ مطّاط
بالُون صَمْغ



هَلْ تَعْلَمُ أَنَّكَ تَسْتَعْمِلُ آلَةً بَسِيطَةً (وهِيَ الرَّافِعَةُ أَوِ العَتَلَةُ) كُلَّما تَضْغَطُ زِرًّا كَهْرُبائِيًّا أَوْ تُدِيرُ مِفْتاحًا فِي قُفْلٍ أَوْ تَعْزِقُ الحَدِيقَةَ بِالمِنْكاشِ ؟

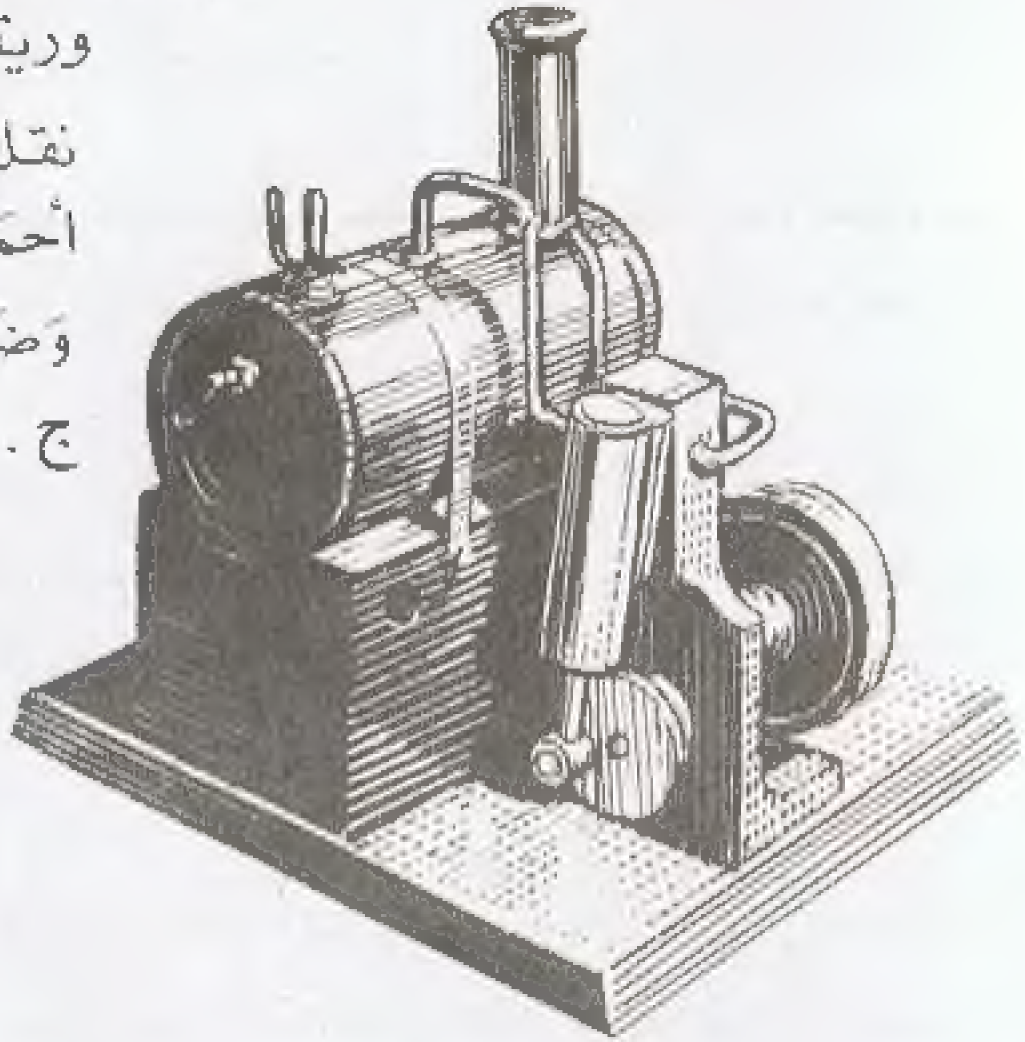
فِي هٰذا الكُتَيِّبِ المُمْتِعِ سَتَتَعَلَّمُ الكَثِيرَ عَنِ الآلاتِ البَسِيطَةِ ـ بِمُساعَدَةِ آخْتِباراتٍ وتَجارِبَ سَهْلَةٍ ومَأْمُونَةٍ ـ سَتَتَعَلَّمُ كَيْفِيَّةَ اسْتِخْدامِ البَكَراتِ لِرَفْعِ الأَوْزانِ الثَّقِيلَةِ وسَتَكْتَشِفُ فائِدَةَ آسْتِعْمالِ كُرَيّاتِ الحامِلِ فِي عَجَلاتِ دَرّاجَتِكَ . وسَتَعْرِفُ سَبَبَ آنْدِفاعِكَ إِلى الأَمامِ (بِقُوَّةِ الاسْتِمْرارِ) عِنْدَما تَتَوَقَّفُ السَّيّارَةُ .

كَذٰلِكَ سَتَتَعَلَّمُ أَشْياءَ أَساسِيَّةً عَنْ عَمَلِ الآلَةِ البُخارِيَّةِ والمُحَرِّكاتِ ذاتِ الاحْتِراقِ الدّاخِلِيِّ والمُحَرِّكاتِ النَّفّاثَةِ !

طُبع في انكلترا
١٩٨٠

الآلاتُ البَسيطَة وَالمُحرّكات

تأليف : ف . نيُوونغ
وريتشارد بوُود
نقله الى العربيّة :
أحمد شفيق الخطيب
وَضع الرسُوم :
ج . هـ . وينغفيلد



مَكتبة لبنان



الآلاتُ البَسِيطَةُ

نُلاحِظُ أنَّ الوَلَدَ في الصُّورَةِ المُقابِلَةِ يَرْفَعُ جِذْعَ شَجَرَةٍ ثَقِيلاً وقَدْ بَذَلَ كُلَّ ما أُوتِيَ مِنْ قُوَّةٍ وجَهْدٍ لِيَفْعَلَ ذلِكَ، بَيْنَما تَرْفَعُ أُخْتُهُ جِذْعًا مُماثِلاً دُونَ عَناءٍ بِواسِطَةِ عَمُودٍ مُرْتَكِزٍ عَلى حَجَرٍ. إنَّها تَسْتَعْمِلُ آلَةً. ونَحْنُ نُطْلِقُ لَفْظَ الآلَةِ أوِ المَكِنَةِ عَلى كُلِّ أداةٍ أوْ نَبِيطَةٍ تَجْعَلُ القِيامَ بالشُّغْلِ أكْثَرَ سُهُولَةً.

والآلَةُ البَسِيطَةُ الَّتِي تَسْتَخْدِمُها الفَتاةُ هِيَ الرّافِعَةُ أوِ العَتَلَةُ أوِ المُخْلُ. فالفَتاةُ تَضْغَطُ بِقُوَّةٍ يَدَيْها إلى أسْفَلَ عَلى طَرَفِ الذِّراعِ الطَّوِيلِ لِلرّافِعَةِ فَيَضْغَطُ طَرَفُ الذِّراعِ القَصِيرِ لِلرّافِعَةِ إلى أعْلى لِيُقاوِمَ وَزْنَ الجِذْعِ ويَرْفَعَهُ.

إسْتَخْدِمْ رافِعَةً بِنَفْسِكَ ولاحِظْ ما يَحْدُثُ بِعِنايَةٍ. يُمْكِنُكَ اسْتِخْدامُ عَصًا صُلْبَةٍ أوْ قِدَّةٍ خَشَبِيَّةٍ لِـهٰذا الغَرَضِ، أوْ يُمْكِنُكَ إجْراءُ التَّجْرِبَةِ بِمِسْطَرَةٍ وبَعْضِ الكُتُبِ عَلى طاوِلَتِكَ.

غَيِّرْ مِحْوَرَ ارْتِكازِ الرّافِعَةِ لِيَتَّخِذَ أبْعادًا مُخْتَلِفَةً عَنِ الجِسْمِ الَّذي تَرْفَعُهُ. ماذا تُلاحِظُ؟ إنَّ القُوَّةَ اللّازِمَةَ لِرَفْعِ الجِسْمِ والمُؤَثِّرَةَ عَلى طَرَفِ الذِّراعِ الطَّوِيلِ لِلرّافِعَةِ تَقِلُّ أكْثَرَ فأكْثَرَ كُلَّما اقْتَرَبَ مِحْوَرُ الارْتِكازِ مِنَ الجِسْمِ المَرْفُوعِ. لكِنَّكَ حِينَئِذٍ تَحْتاجُ إلى ضَغْطِ الذِّراعِ الطَّوِيلِ لِلرّافِعَةِ مَسافَةً طَوِيلَةً لِتَرْفَعَ الجِسْمَ مَسافَةً قَصِيرَةً.

إنَّ الوَلَدَ والفَتاةَ في الصُّورَةِ كِلَيْهِما رَفَعا جِذْعَ الشَّجَرَةِ إلى الارْتِفاعِ نَفْسِهِ. لكِنَّ الفَتاةَ بَذَلَتْ قُوَّةً أقَلَّ عَلى مَدى مَسافَةٍ أطْوَلَ لِلْقِيامِ بالشُّغْلِ بِطَرِيقَةٍ أسْهَلَ. أمّا الفَتى فَقَدِ اضْطُرَّ لِبَذْلِ قُوَّةٍ كَبِيرَةٍ عَلى مَدى مَسافَةِ الرَّفْعِ القَصِيرَةِ. وهٰكَذا فإنَّنا نَرى أنَّ الآلَةَ لا تَمْنَحُنا شَيْئًا مِنْ لا شَيْءٍ، إنَّها لا تُقَلِّلُ الشُّغْلَ بَلْ تَجْعَلُ القِيامَ بِهِ أسْهَلَ أداءً.



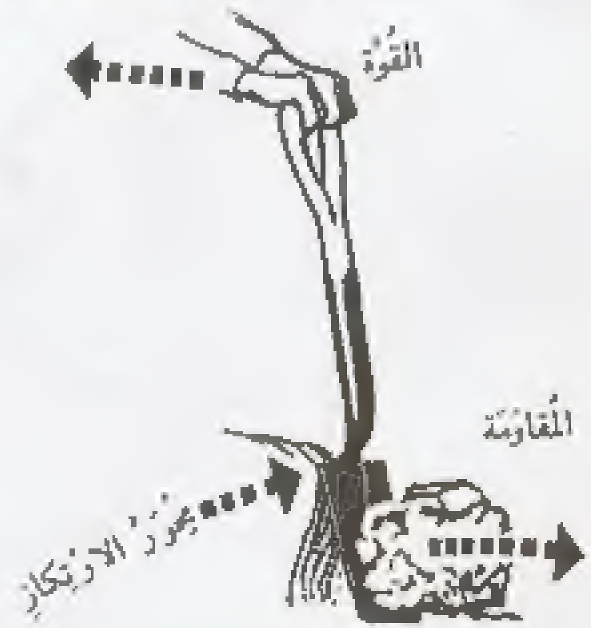
أنواعُ الرَّوافِعِ المُختلِفَةِ

الرَّافِعَةُ هِيَ آلَةٌ بَسِيطَةٌ نَستَخدِمُها بِأشكالٍ تَكادُ لا تُحصَى. فالوَلَدُ في الصُّورَةِ المُقابِلَةِ يَعزِقُ الأرضَ بالرَّفشِ، ورَفشُهُ آلَةٌ بَسِيطَةٌ. يَشُدُّ الوَلَدُ عَلَى المِقبَضِ في عَصا الرَّفشِ لِيَقلِبَ التُّربَةَ بِمِجرَفَةِ الرَّفشِ المَعدِنِيَّةِ. وكُلَّما طالَت عَصا الرَّفشِ، في وَضعِهِ المُبَيَّنِ، خَفَّتِ القُوَّةُ اللازِمَةُ لِتَحرِيكِهِ.

أمَّا الفَتاةُ فإنَّها تَبحَثُ عَنِ الرَّوافِعِ المُستَخدَمَةِ في دَرّاجَتِها. لَقَد لاحَظَت ثَلاثًا مِنها في وُصلاتِ المِكبَحِ الخَلفِيِّ - تَحتَ المِقوَدِ تَمامًا، وفي أسفَلِهِ لِتَحوِيلِ الشَّدِّ زاوِيًّا، وتَحتَ مَفصِلِ الدَّوّاسَةِ لِلتَّوصِيلِ بِكُتلَتَي الكَبحِ. إنَّكَ سَتُدرِكُ ضَرُورَةَ استِخدامِ الرّافِعَةِ في عَمَلِيَّةِ الكَبحِ حِينَ تُحاوِلُ شَدَّ أو سَحبَ قَضِيبِ الكَبحِ بِيَدِكَ فَقَط. هُنالِكَ رَوافِعُ أُخرَى في الدَّرّاجَةِ مِثلُ مِرفَقَي تَدوِيرِ الدَّوّاسَتَينِ والتُّرسِ (المُسَنَّنِ) وذِراعِ تَغيِيرِ السُّرعَةِ. وعِندَ فَكِّ الإطارِ الخارِجِيِّ لإصلاحِ ثَقبٍ في الإطارِ الدّاخِلِيِّ تَستَخدِمُ الفَتاةُ عَتَلَةَ فَكِّ الأُطُرِ.

تُستَخدَمُ الرَّوافِعُ في كُلِّ مَكانٍ، ومِنها أنواعٌ طَوِيلَةٌ جِدًّا كالَّتِي يَستَخدِمُها عامِلُ السِّيمافُور أو عامِلُ إشاراتِ السِّكَكِ الحَدِيدِيَّةِ. فَمِثلُ هٰذِهِ الرَّوافِعِ تُشَغِّلُ إشاراتٍ أو لافِتاتٍ ثَقِيلَةً وكَثِيرًا ما يَكُونُ بَعضُها بَعِيدًا عَن عامِلِ الإشارَةِ.

فِيما يَلِي بَعضُ أنواعِ الرَّوافِعِ الشّائِعَةِ الاستِعمالِ: المِقَصُّ، كَسّارَةُ الجَوزِ، الزَّردِيَّةُ، مِلقَطُ الجَمرِ، مِحراكُ الجَمرِ، فَتّاحَةُ العُلَبِ، سَقّاطَةُ مِزلاجِ البابِ، مِفتاحُ القُفلِ ولِسانُهُ، مِفتاحُ الدّارَةِ الكَهرُبائِيَّةِ، مِفتاحُ رَبطِ الصَّوامِيلِ وغَيرُها مِنَ الأدَواتِ الكَثِيرَةِ. حاوِل أن تُسَمِّيَ غَيرَها وتَذَكَّر أنَّ نَوعَ الرّافِعَةِ يَتَحَدَّدُ بِأجزائِها الثَّلاثَةِ: نُقطَةِ عَمَلِ القُوَّةِ، نُقطَةِ أو مِحوَرِ الارتِكازِ، ونُقطَةِ عَمَلِ المُقاوَمَةِ حَيثُ الشُّغلُ المُرادُ عَمَلُهُ.





الأُرْجُوحَةُ كإحْدَى الرَّوافِعِ

يُمْكِنُ لِوَلَدٍ أنْ يُوازِنَ وَلَدًا أثْقَلَ وَزْنًا مِنْهُ عَلى الأُرْجُوحَةِ إذا هُما جَلَسا في المَكانَيْنِ الصَّحِيحَيْنِ. وبالاخْتِبارِ تُلاحِظُ أنَّ التَّوازُنَ يَتَحَقَّقُ عِنْدَما يَجْلِسُ الوَلَدُ الأثْقَلُ أقْرَبَ إلى مِحْوَرِ الارْتِكازِ مِنَ الوَلَدِ الأخَفِّ وَزْنًا. وكُلَّما زادَ وَزْنُ الوَلَدِ الأثْقَلِ كانَ قُرْبُهُ إلى مِحْوَرِ الارْتِكازِ أكْثَرَ. فَهَلْ مِنْ عَلاقَةٍ بَيْنَ وَزْنَي الوَلَدَيْنِ وبُعْدَيْهِما عَنْ مِحْوَرِ الارْتِكازِ؟

تَسْتَطِيعُ القِيامَ بِتَجْرِبَةٍ بَسِيطَةٍ لِلإجابَةِ عَنْ هٰذا السُّؤالِ. ألْصِقْ قَلَمًا أُسْطُوانِيًا (مُدَوَّرًا) عَلى عُلْبَةِ ثِقابٍ بِقِطْعَةٍ مِنَ البلاسْتِيسين ووازِنْ فَوْقَهُ بِعِنايَةٍ مِسْطَرَةً خَشَبِيَّةً.

ضَعْ قِطْعَةَ نَقْدٍ مَعْدِنِيَّةً قُرْبَ إحْدَى نِهايَتَيِ المِسْطَرَةِ ثُمَّ زَلِّقْ بِرِفْقٍ قِطْعَتَيْ نَقْدٍ مُتَراكِبَتَيْنِ مُماثِلَتَيْنِ لِلأُولى عَلى طُولِ جانِبِ المِسْطَرَةِ الآخَرِ واتْرُكْهُما حَيْثُ يَتَحَقَّقُ التَّوازُنُ. قِسِ المَسافَتَيْنِ بَيْنَ مَرْكَزَيِ القِطَعِ النَّقْدِيَّةِ ومِحْوَرِ الارْتِكازِ. لاحِظْ أنَّ بُعْدَ قِطْعَةِ النَّقْدِ المُفْرَدَةِ عَنْ مِحْوَرِ الارْتِكازِ يُساوِي ضِعْفَيْ بُعْدِ القِطْعَتَيْنِ المُتَراكِبَتَيْنِ عَنْهُ.

أعِدِ التَّجْرِبَةَ بَعْدَ أنْ تُقَرِّبَ قِطْعَةَ النَّقْدِ المُفْرَدَةَ نَحْوَ مِحْوَرِ الارْتِكازِ وَجِدْ طُولَ المَسافَتَيْنِ عِنْدَ التَّوازُنِ. أعِدِ التَّجْرِبَةَ ثالِثَةً وسَجِّلِ الأبْعادَ عَنْ مِحْوَرِ الارْتِكازِ لِلقِطْعَةِ ولِلقِطْعَتَيْنِ في الحالاتِ الثَّلاثِ وقارِنْ بَيْنَها. إنَّ بُعْدَ القِطْعَةِ المُفْرَدَةِ عَنْ مِحْوَرِ الارْتِكازِ هُوَ في كُلِّ الحالاتِ ضِعْفَا بُعْدِ القِطْعَتَيْنِ المُتَراكِبَتَيْنِ عَنْهُ.





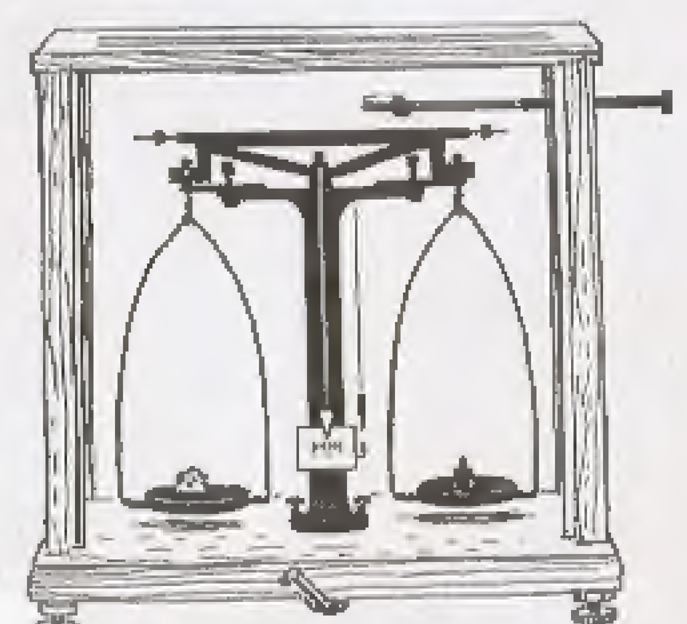
المِيزانُ ذُو الكِفَّتَيْنِ

المِيزانُ ذُو الكِفَّتَيْنِ هُوَ كالأُرْجُوحَةِ أَيْضًا مِنَ الرَّوافِعِ . ومُعْظَمُ المَوازِينِ رَوافِعُ مُتَساوِيَةُ الذِّراعَيْنِ - أَيْ إِنَّ الأَوْزانَ الَّتي تُوضَعُ في كِفَّتَيْها تَكُونُ مُتَساوِيَةَ البُعْدِ عَنْ مِحْوَرِ الارْتِكازِ ، فَوَزْنُ الكِيلُوغرامِ في إِحْدَى الكِفَّتَيْنِ يَتَوازَنُ مَعَ كِيلوغرامٍ مِنَ التُّفّاحِ في الكِفَّةِ الثّانِيَةِ .

يُمْكِنُكَ صُنْعُ مِيزانٍ بَسِيطٍ مِنْ فِلِّينَةٍ ودَبُّوسَيْنِ وإِبْرَةِ حِياكَةٍ . اقْطَعْ شَقَّتَيْنِ مِنْ طَرَفَيِ الفِلِّينَةِ كَما هُوَ مُبَيَّنٌ في الشَّكْلِ . اغْرِزِ الدَّبُّوسَيْنِ في طَرَفَيِ الفِلِّينَةِ لِيَرْتَكِزَ عَلَيْهِما المِيزانُ ثُمَّ اغْرِزْ إِبْرَةَ الحِياكَةِ في مُنْتَصَفِ الفِلِّينَةِ ووازِنْها .

قُصَّ مُرَبَّعَيْنِ مُتَساوِيَيْنِ تَمامًا مِنَ الوَرَقِ المُقَوَّى وأَثْنِ قُرْنَيْهِما لِتَصْنَعَ مِنْهُما كِفَّتَيِ المِيزانِ . عَلِّقِ الكِفَّتَيْنِ مِنْ طَرَفَيْ إِبْرَةِ الحِياكَةِ بِخُيُوطٍ قُطْنِيَّةٍ رَفِيعَةٍ مُتَساوِيَةِ الطُّولِ عَلى بُعْدَيْنِ مُتَساوِيَيْنِ مِنْ مُنْتَصَفِها . اقْلِبْ كُوبَيْنِ مِنَ الزُّجاجِ وقَرِّبْهُما بِحَيْثُ تَتَحَرَّكُ الفِلِّينَةُ بَيْنَهُما بِسُهُولَةٍ مُرْتَكِزَةً عَلى طَرَفَيِ الدَّبُّوسَيْنِ . إِذا كانَتْ إِحْدَى الكِفَّتَيْنِ أَعْلى مِنَ الأُخْرَى فَثَقِّلْها بِحَبّاتٍ مِنَ الرَّمْلِ أَوْ بِقِطَعٍ صَغِيرَةٍ مِنَ الوَرَقِ حَتّى تَتَوازَنَ الكِفَّتانِ تَمامًا .

إِنَّ مِيزانَكَ لَنْ يَصْلُحَ طَبْعًا لِلْوَزْنِ بِأَوْزانٍ كالَّتي يَسْتَعْمِلُها البَقّالُ ، ولكِنْ بِاسْتِطاعَتِكَ أَنْ تَزِنَ بِهِ الأَشْياءَ الصَّغِيرَةَ كالدَّبابِيسِ والمَسامِيرِ والرِّيشِ وعِيدانِ الكِبْرِيتِ مُسْتَخْدِمًا حَبّاتِ الأَرُزِّ مَثَلاً . فَوَحْدَةُ الوَزْنِ في مِيزانِكَ هِيَ إِذَنْ حَبَّةُ الأَرُزِّ بَدَلاً مِنَ الأُوقِيَّةِ أَوْ الكِيلُوغْرامِ . إِنَّ المِيزانَ الحَسّاسَ الَّذي يَسْتَخْدِمُهُ العُلَماءُ في صُنْدُوقِهِ الزُّجاجِيِّ يُمَكِّنُهُمْ مِنْ وَزْنِ الأَشْياءِ الخَفِيفَةِ جِدًّا ، كالشَّعْرَةِ مَثَلاً ، بِدِقَّةٍ بالِغَةٍ .





تَسْهِيلُ الحَرَكَةِ والتَّحْرِيكِ

فِي الصُّورَةِ الأُولَى (ص ٥) استَخْدَمَتِ الفَتَاةُ رافِعَةً (عَتَلَةً) لِرَفْعِ الجِذْعِ الثَّقِيلِ . وَقَدْ عَنَّ لِلْفَتَاةِ وأَخِيهَا أَنْ يَنْقُلا الجِذْعَ إِلَى طَرَفِ الحَقْلِ . فَكَيْفَ السَّبِيلُ إِلَى ذَلِكَ ؟ إِنَّ الجِذْعَ أَثْقَلُ مِنْ أَنْ يَسْتَطِيعَا حَمْلَهُ ، لِذَلِكَ حاوَلا جَرَّهُ لَكِنْ ذَلِكَ أَيْضًا لَمْ يَكُنْ بالأَمْرِ الهَيِّنِ . لَقَدْ كانا يُواجِهانِ المُشْكِلَةَ نَفْسَها الَّتِي واجَهَهَا الإِنْسانُ الأَوَّلُ عِنْدَما كانَ يُرِيدُ نَقْلَ جِذْعِ شَجَرَةٍ أَوْ تَحْرِيكَ صَخْرَةٍ عَظِيمَةٍ أَوْ دَفْعَ حَجَرٍ ضَخْمٍ كَما فِي بِناءِ الأَهْرامَاتِ وهَياكِلِ بَعْلَبَكَّ .

لَقَدِ اسْتَخْدَمَ الإِنْسانُ القَدِيمُ الدَّحارِيجَ الأُسْطُوانِيَّةَ . فَلَوْ رَفَعَ الوَلَدانِ جِذْعَ الشَّجَرَةِ وأَدْخَلا تَحْتَهُ بَعْضَ قِطَعاتِ الجِذْعِ الأُسْطُوانِيَّةِ لأَمْكَنَهُما جَرُّهُ بِسُهُولَةٍ إِلَى حَيْثُ يُرِيدانِ . أَمَّا لِماذا لَمْ يَسْتَطِعِ الوَلَدانِ جَرَّ الجِذْعِ عَلَى الأَرْضِ بِسُهُولَةٍ ، فالجَوابُ هُوَ الاحْتِكاكُ .

إِنَّ سَطْحَ الجِذْعِ الخَشِنَ الضَّاغِطَ عَلَى سَطْحِ الأَرْضِ الخَشِنِ يُعَرْقِلُ الحَرَكَةَ . فَلَوْ كانَ سَطْحُ الجِذْعِ صَقِيلاً ناعِمًا وكانَتِ الأَرْضُ صَفْحَةً مُسْتَوِيَةً مِنَ الجَلِيدِ لَكانَ مِنَ السَّهْلِ جِدًّا تَحْرِيكُ الجِذْعِ فَوْقَها . والاحْتِكاكُ يَنْتُجُ مِنْ تَحاكِّ السَّطْحَيْنِ واحِدِهِما عَلَى الآخَرِ . فإِنْ قَلَّتْ نِقاطُ التَّماسِّ بَيْنَهُما يَقِلُّ الاحْتِكاكُ . وعِنْدَ وَضْعِ الدَّحارِيجِ الأُسْطُوانِيَّةِ تَحْتَ الجِذْعِ يَتَحَرَّكُ الجِذْعُ بالدُّرُوجِ بَدَلَ الحَرَكَةِ بالانْزِلاقِ وذَلِكَ يُقَلِّلُ كَثِيرًا مِنَ الاحْتِكاكِ .



ضَعْ كُومَةً مِنَ الكُتُبِ عَلَى طاوِلَةٍ مُغَطَّاةٍ بِغِطاءٍ مِنَ القُماشِ ولاحِظْ صُعُوبَةَ انْزِلاقِها فَوْقَهُ . ضَعْ قَلَمَيْنِ أَوْ ثَلاثَةً تَحْتَ كُومَةِ الكُتُبِ ولاحِظِ السُّهُولَةَ الَّتِي يَتِمُّ بِها انْزِلاقُ الكُتُبِ . إِنَّ الرَّافِعَةَ والدِّحْراجَ الأُسْطُوانِيَّ كِلَيْهِما آلَتانِ تُسَهِّلانِ تَحْرِيكَ الأَشْياءِ .



مَحامِلُ الكُرَيّاتِ

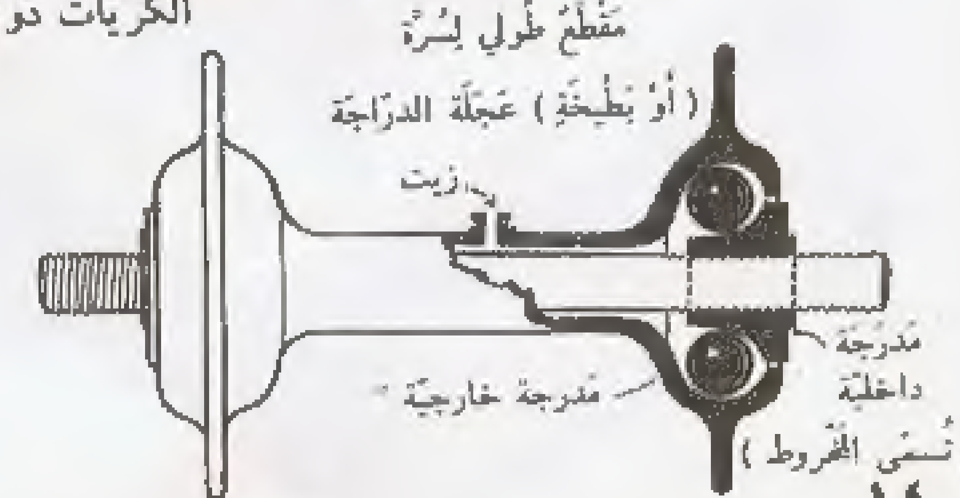
لَقَدْ تَطَوَّرَ الدِّحْراجُ الأُسْطُوانِيُّ كَوَسِيلَةٍ لِمُقاوَمَةِ الاحْتِكاكِ إلى أَرْقَى أَشْكالِهِ في مَحْمِلِ الكُرَيّاتِ الَّذي هُوَ عِبارَةٌ عَنْ كُراتٍ فُولاذِيَّةٍ صَلْدَةٍ مَلْساءَ لِلْغايَةِ مُحْتَواةٍ في مَدْرَجَةٍ حَلْقِيَّةٍ تَدُورُ فَوْقَها. ويُسْتَخْدَمُ مَحْمِلُ الكُرَيّاتِ هٰذا في كَثِيرٍ مِنَ الأَجْزاءِ المُتَحَرِّكَةِ في المَكَناتِ والآلاتِ لِتَقْلِيلِ الاحْتِكاكِ.

يُمْكِنُكَ اخْتِبارُ قُدْرَةِ كُرَيّاتِ المَحْمِلِ عَلى تَقْلِيلِ الاحْتِكاكِ بِتَجْرِبَةٍ بَسِيطَةٍ أُخْرى بِكُومَةِ الكُتُبِ. ضَعْ كُومَةَ الكُتُبِ في صِينِيَّةٍ وحاوِلْ تَزْلِيجَها، ثُمَّ ضَعْ تَحْتَ جَوانِبِ الصِّينِيَّةِ سِتَّ كُلَلٍ (كُرَيّاتٍ) زُجاجِيَّةٍ ولاحِظْ كَيْفَ يُصْبِحُ بالإمْكانِ تَحْرِيكُها بِخِنْصَرِكَ.

يَتَكَوَّنُ مَحْمِلُ الكُرَيّاتِ عادَةً مِنْ عِدَّةِ كُرَيّاتٍ فُولاذِيَّةٍ تَدُورُ بَيْنَ مَدْرَجَتَيْنِ داخِلِيَّةٍ وخارِجِيَّةٍ، كَما يَبْدُو في الرَّسْمِ التَّخْطِيطِي في أَسْفَلِ الصَّفْحَةِ. وبِإمْكانِكَ صُنْعُ مَدْرَجَةِ كُرَيّاتٍ مِنْ غِطاءَيْ عُلَبٍ مَعْدِنِيَّيْنِ وبِضْعِ كُرَيّاتٍ (كُلَلٍ) زُجاجِيَّةٍ.

ضَعِ الكُرَيّاتِ في أَحَدِ الغِطاءَيْنِ قُرْبَ حافَتِهِ ثُمَّ اقْلِبِ الغِطاءَ الآخَرَ فَوْقَهُ بِحَيْثُ يَرْتَكِزُ عَلى الكُرَيّاتِ لا عَلى حافَةِ الغِطاءِ السُّفْلِيِّ. ضَعِ المَدْرَجَةَ عَلى الأَرْضِ وقِفْ بِإحْدَى قَدَمَيْكَ فَوْقَها. سَتَجِدُ أَنَّكَ تَسْتَطِيعُ الدَّوَرانَ بِسُهُولَةٍ بالِغَةٍ - والواقِعُ إنَّكَ سَتَدُورُ بِسُهُولَةٍ غَيْرِ مُتَوَقَّعَةٍ قَدْ تُفْقِدُكَ تَوازُنَكَ!

تُسْتَخْدَمُ مَحامِلُ الكُرَيّاتِ غالِبًا حَيْثُما يَدُورُ دُولابٌ حَوْلَ مِحْوَرٍ كَما في الدَّرّاجَةِ والمِزْلَجَةِ ذاتِ الدَّوالِيبِ. يُمْكِنُكَ رُؤْيَةُ هٰذِهِ المَحامِلِ في الدَّرّاجَةِ - في مِحْوَرَيِ العَجَلَتَيْنِ وبِرِفَقِ الدَّوّاسَتَيْنِ نَفْسِيهِما وفي عَمُودِ القِيادَةِ. فَهٰذِهِ كُلُّها نِقاطُ احْتِكاكٍ تَحُولُ فِيها الكُرَيّاتُ دُونَ تَحاكِّ قِطْعَةٍ فُولاذِيَّةٍ بِأُخْرى.





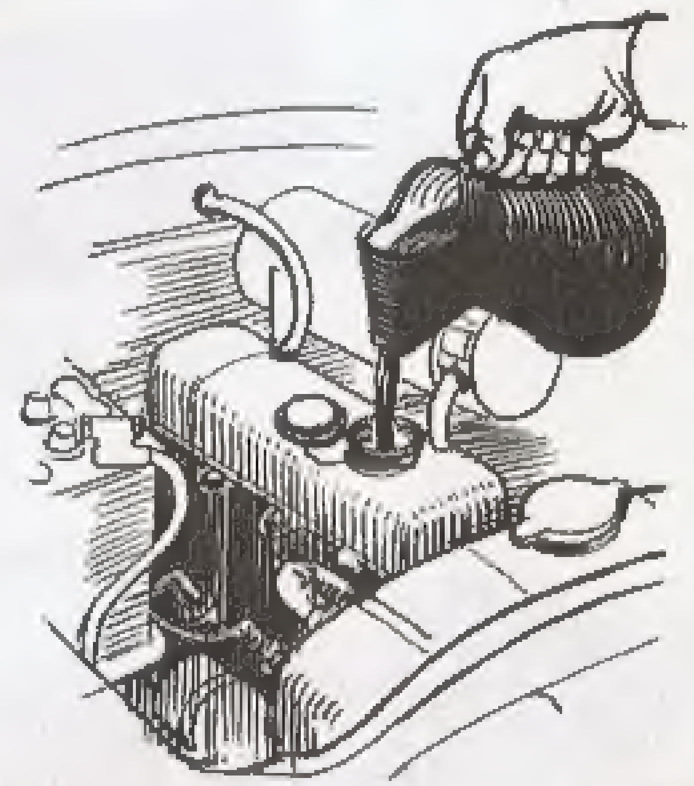
سُهُولَةُ الحَرَكَةِ والتَّوَقُّفِ

هَلْ سَبَقَ لَكَ أَنْ لاحَظْتَ تَأْثِيرَ التَّزْيِيتِ عَلَى حُسْنِ سَيْرِ دَرّاجَتِكَ ؟ عِنْدَما لا تَكُونُ دَرّاجَتُكَ مُزَوَّدَةً بِزَيْتِ التَّزْلِيقِ اللّازِمِ فَإِنَّكَ تُضْطَرُّ إِلى ضَغْطِ الدَّوّاسَتَيْنِ بِشِدَّةٍ أَكْثَرَ ، وذٰلِكَ لِلتَّغَلُّبِ عَلَى الاحْتِكاكِ النّاشِئِ بَيْنَ الأَجْزاءِ المُتَحَرِّكَةِ فيها. أَمّا إِذا زُلِّقَتْ هٰذِهِ الأَجْزاءُ بالزَّيْتِ فَإِنَّها تَنْزَلِقُ بَعْضُها فَوقَ بَعْضٍ بِسُهُولَةٍ ويُسْرٍ.

إِذا قُمْتَ بِتَزْلِيقِ دَرّاجَتِكَ عَلَى الوَجْهِ الصَّحِيحِ فَإِنَّ عَلَيْكَ وَضْعَ الزَّيْتِ في كُلِّ مَكانٍ يُوجَدُ فيهِ مَحْمِلُ كُرَيّات وفي كُلِّ مَوْضِعٍ يَحْتَكُّ فيهِ جُزْءٌ مَعْدِنِيٌّ مَعَ جُزْءٍ مَعْدِنِيٍّ آخَرَ .

ولَيْسَتْ سُهُولَةُ الحَرَكَةِ هِيَ الأَمْرُ الوَحِيدُ الضَّرُورِيُّ في دَرّاجَتِكَ ، بَلْ إِنَّ سُهُولَةَ تَبْطِئَتِها وتَوقِيفِها عِنْدَ اللُّزُومِ ضَرُورَةٌ لا غِنَى عَنْها أَيْضًا . وفي هٰذا المَجالِ لا بُدَّ مِنَ اسْتِخْدامِ قُوَى الاحْتِكاكِ لِمُضادَّةِ الحَرَكَةِ. هَلْ تَعْرِفُ كَيْف ؟ الجَوابُ بالطَّبْعِ هُوَ : باسْتِخْدامِ المَكابِحِ . فَلُقَمُ المَكابِحِ مَصْنُوعَةٌ مِنْ مادَّةٍ مُصَمَّمَةٍ لِبَذْلِ أَقْصَى ما يُمْكِنُ مِنَ الاحْتِكاكِ عِنْدَما تُضْغَطُ اللُّقَمُ بِقُوَّةٍ وإِحْكامٍ عَلَى حَوافِّ العَجَلَتَيْنِ المَعْدِنِيَّةِ . وهٰكَذا فَإِنَّ الاحْتِكاكَ هُوَ الَّذي يُوقِفُ دَوَرانَ العَجَلَتَيْنِ عِنْدَما تَضْغَطُ أَنْتَ المِكْبَحَ.

كَذٰلِكَ فَإِنَّ مَوْطِئَي الدَّوّاسَتَيْنِ ومِقْبَضَي المِقْوَدِ مَصْنُوعَةٌ أَيْضًا مِنْ مَوادَّ عالِيَةِ الاحْتِكاكِ حَتّى لا تَنْزَلِقَ عَنْها قَدَماكَ ولا يَداكَ . كَما أَنَّهُ لَوْلا الاحْتِكاكُ بَيْنَ إِطارَيِ العَجَلَتَيْنِ والطَّرِيقِ لَما تَحَرَّكَتْ دَرّاجَتُكَ بَلْ لانْزَلَقَتِ العَجَلَتانِ مُدَوِّمَتَيْنِ في مَكانِهِما . ولِهٰذا السَّبَبِ يُصْنَعُ لِلإِطارِ المَطّاطِيِّ مَداسٌ أَوْ مَوْطِئٌ خَشِنٌ عَلَى سَطْحِهِ المُحِيطِيِّ لِيَتَشَبَّثَ بالطَّرِيقِ ويَمْنَعَ الانْزِلاقَ خاصَّةً عِنْدَ المُنْعَطَفاتِ. وإِذا رَكِبْتَ دَرّاجَةً مالِسَةَ أَوْ مَمْسُوحَةَ مَداسِ الإِطارَيْنِ فَإِنَّ احْتِكاكَهُما مَعَ الطَّرِيقِ يَكُونُ أَقَلَّ وتَزْدادُ احْتِمالِيَّةُ انْزِلاقِهِما عَلَى طَرِيقٍ مُبَلَّلَةٍ.





نـمُوذَجُ مِرْفاعٍ

لِتَصْنَعَ مِرْفاعًا كالَّذِي فِي الصُّورَةِ المُقابِلَةِ يَلْزَمُكَ كُتْلَةٌ خَشَبِيَّةٌ عَرْضُها حَوالَى عَشَرَةِ سَنْتيمِتْراتٍ لِلْقاعِدَةِ وقِدَّتانِ رَفِيعَتانِ طُولُ الواحِدَةِ مِنْهُما حَوالَى خَمْسَةٍ وعِشْرِينَ سَنْتِيمِتْرًا لِذِراعِ المِرْفاعِ. بالإضافَةِ إلى ثَلاثَةِ مِكَبّاتٍ (أوْ بَكَراتٍ) خُيُوطٍ فارِغَةٍ ودِسارَيْنِ خَشَبِيَّيْنِ وبَعْضِ المَسامِيرِ والخُيُوطِ. يَجِبُ أنْ يَكُونَ ثَخْنُ سَطْحِ القاعِدَةِ أوْسَعَ قَلِيلاً مِنْ عَرْضِ مِكَبّاتِ الخُيُوطِ.

انْقُرْ في كُلِّ قِدَّةٍ ثَقْبَيْنِ - واحِدًا عَلى بُعْدِ سَبْعَةِ سَنْتِيمِتْراتٍ مِنْ إحْدَى طَرَفَيْها وآخَرَ عَلى بُعْدِ سَنْتِيمِتْرٍ ونِصْفٍ مِنَ الطَّرَفِ الآخَرِ. اجْعَلِ اتِّساعَ الثُّقُوبِ مُناسِبًا لاسْتِيعابِ الدِّسارَيْنِ.

أدْخِلْ مِكَبًّا (بَكَرَةً) في كُلٍّ مِنَ الدِّسارَيْنِ جاعِلاً طَرَفَيِ الدِّسارِ الأوَّلِ يَبْرُزانِ حَوالَى سَنْتِيمِتْرَيْنِ عَنْ جانِبَيِ مِكَبِّهِ. أمّا الدِّسارُ الثّاني فاجْعَلْهُ يَبْرُزُ حَوالَى سَنْتِيمِتْرَيْنِ مِنْ أحَدِ طَرَفَيِ المِكَبِّ بَيْنَما يَبْرُزُ حَوالَى ثَمانِيَةِ سَنْتِيمِتْراتٍ مِنْ طَرَفِ المِكَبِّ الآخَرِ وذلِكَ لِتَرْكِيبِ بَكَرَةٍ لِمِرْفَقِ التَّدْوِيرِ عَلَيْهِ. ثَبِّتِ الدِّسارَيْنِ في مَكانَيْهِما بالغِراءِ.

سَمِّرْ إحْدَى قِدَّتَيِ ذِراعِ المِرْفاعِ إلى كُتْلَةِ القاعِدَةِ كَما في الصُّورَةِ ثُمَّ رَكِّبْ فِيها المِكَبَّيْنِ ودِسارَيْهِما جاعِلاً المِكَبَّ الَّذِي سَيَحْمِلُ مِرْفَقَ التَّدْوِيرِ في الطَّرَفِ السُّفْلِيِّ لِلذِّراعِ. تأكَّدْ مِنْ سُهُولَةِ دَوَرانِ الدِّسارَيْنِ ومِكَبَّيْهِما في ثَقْبَيِ القِدَّةِ. ضَعْ قِدَّةَ الذِّراعِ الثّانِيَةَ في مَكانِها بِحَيْثُ يَدْخُلُ طَرَفا الدِّسارَيْنِ القَصِيرَيِ البُرُوزِ عَبْرَ ثَقْبَيْها. ثُمَّ سَمِّرْها أيْضًا في كُتْلَةِ القاعِدَةِ.

دُقَّ مِسْمارَيْ تَثْبِيتٍ قَصِيرَيْنِ في أعْلَى طَرَفَيِ قِدَّتَيِ الذِّراعِ وأوْصِلْ كُلاًّ مِنْهُما بِخَيْطٍ إلى مِسْمارٍ مُقابِلٍ في مُؤَخَّرَةِ كُتْلَةِ القاعِدَةِ. دُقَّ قِدَّةَ خَشَبٍ رَفِيعَةً بِمِسْمارَيْنِ عَلى عَرْضِ بَكَرَةِ الخُيُوطِ الثّالِثَةِ وأدْخِلْ مِسْمارًا طَوِيلاً في طَرَفِ القِدَّةِ الآخَرِ كَمِقْبَضِ تَدْوِيرٍ. ضَعْ طَرَفَ الدِّسارِ البارِزَ الطَّوِيلَ وأدْخِلِ البَكَرَةَ فِيهِ.

لُفَّ قَدْرًا كافِيًا مِنَ الخَيْطِ حَوْلَ المِكَبِّ السُّفْلِيِّ ومَرِّرْ طَرَفَ الخَيْطِ فَوْقَ المِكَبِّ العُلْوِيِّ ثُمَّ عَلِّقْ مِنَ الخَيْطِ خُطّافًا مِنَ السِّلْكِ. ثَقِّلِ الخُطّافَ بِلَفِّ السِّلْكِ عِدَّةَ لَفّاتٍ.



البَكَراتُ

إنَّ المِرْفاعَ الّذي صَنَعْتَهُ في الصَّفْحَةِ السّابِقَةِ هُوَ طَبْعًا مِنَ الآلاتِ لأنَّهُ يُيَسِّرُ القِيامَ بالعَمَلِ، مِنَ السَّهْلِ تَدْويرُ المِقْبَضِ لِرَفْعِ الثِّقَلِ. ولكِنَّكَ لا تَحْصُلُ باسْتِخْدامِهِ على «شَيْءٍ مِنْ لا شَيْءٍ». عَلَيْكَ أنْ تُدَوِّرَ المِرْفَقَ كَثيرًا لِـرَفْعِ الثِّقَلِ مَسافَةً قَصيرةً.

كَذلِكَ يُيَسِّرُ المِرْفـاعُ رَفْـعَ الثِّقَلِ بِطَريقَةٍ أُخْرَى. فَبِوُجودِ البَكَرَةِ في أعْلـى ذِراعِ المِرْفاعِ ومُرُورِ حَبْلِ الرَّفْعِ فَوْقَها يَجْري الشَّدُّ إلى أسْفَلَ لِرَفْعِ الثِّقَلِ بَدَلَ الشَّدِّ إلى أعْلَـى، والشَّدُّ إلى أسْفَلَ أسْهَلُ.

في الصُّورَةِ المُقـابِلَةِ يَرْفَعُ الوَلَدُ وأُخْتُهُ كِلاهُما سَطْلاً مِنَ التُّرابِ، وتَبْدو البِنْتُ مُتَضايِقَةً مِنْ حَمْلِ السَّطْلِ بِهذِهِ الطَّريقَةِ. أمّا الوَلَدُ فَيَسْتَخْدِمُ في رَفْعِ سَطْلِهِ بَكَرَةً مُثَبَّتَةً في عَمودٍ عُلْوِيٍّ وهُوَ يَرْفَعُ السَّطْلَ بارْتِيـاحٍ ظاهِرٍ بِشَدِّ الحَبْلِ المـارِّ فَوْقَ البَكَرَةِ. إنَّهُ يَشُدُّ بالقُوَّةِ نَفْسِها الّتي تَشُدُّ بِها أُخْتُهُ، لكِنَّهُ يَجِدُ الشَّدَّ عَلى الحَبْلِ إلى أسْفَلَ سَهْلاً بَيْنَمـا تَسْتَصْعِبُ أُخْتُهُ حَمْـلَ السَّطْلِ بالشَّدِّ عَلى مِقْبَضِهِ إلى أعْلـى.

ولِلسَّبَبِ نَفْسِهِ تُسْتَخْدَمُ البَكَراتُ المُفْرَدَةُ لِتَسْهيلِ الرَّفْعِ بِتَغْيـيرِ اتِّـجاهِ القُوَّةِ المُـؤَثِّرَةِ. فَهِـيَ تُسْتَخْدَمُ في المِرْفاعِ الحَقيقِـيِّ وفي وَرْشاتِ البِناءِ وأعْمـالِ التَّفْريغِ والتَّخْزينِ. كَمـا تُسْتَخْدَمُ أحْيانًا في تَحْريكِ سَتائِرِ النَّوافِذِ في المَـنازِلِ وتَدْويرِ حِبالِ نَشْرِ الغَسيلِ.

لَقَدِ اسْتُخْدِمَتِ البَكَراتُ مُنْذُ القِدَمِ عَلى السُّفُنِ لِرَفْعِ الأشْرِعَـةِ وشَدِّها وما زالَتْ تُسْتَخْدَمُ عَلى المَراكِبِ الحَديثَةِ ومَرافِئِها لِتَحْميلِ وتَفْريغِ البَضائِعِ مِنْ عَنابِرِ السُّفُنِ وإلَيْـها.



البَكّارَةُ (ذاتُ البَكَرِ)

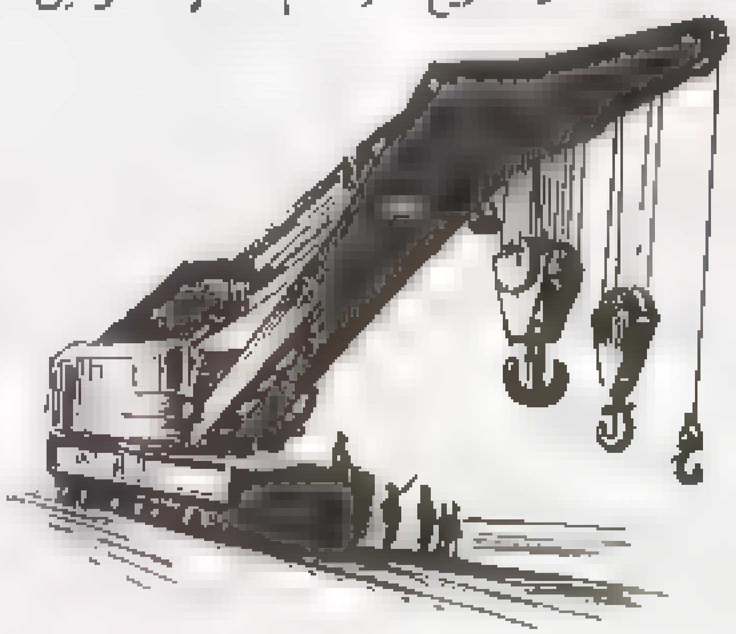
لَقَدْ تَبَيَّنّا فيما سَبَقَ فائِدَةَ البَكَرَةِ المُفْرَدَةِ في تَيْسيرِ رَفْعِ الأَثْقالِ . أَمّا إِذا اسْتَخْدَمْنا بَكَرَتَيْنِ (بَكّارَةً مُزْدَوِجَةً) فإِنَّ الرَّفْعَ لا يُصْبِحُ أَيْسَرَ فَحَسْبُ بَلْ يَتِمُّ بِشَدٍّ أَخَفَّ أَيْضًا

يُمْكِنُكَ صُنْعُ البَكّارَةِ المُزْدَوِجَةِ مِنْ بَكَرَتَيْ خُيوطٍ فارِغَتَيْنِ عالِيَتَي الحَوافِّ وقِطْعَتَيْ سِلْكٍ ثَخينٍ قابِلٍ لِلثَّنْي طولُ القِطْعَةِ حَوالى خَمْسَةٍ وعِشْرينَ سَنْتيمِتْرًا . أَدْخِلِ السِّلْكَ في ثَقْبِ المِكَبِّ واثْنِهِ كَما في الصّورَةِ جاعِلاً الطَّرَفَ السّائِبَ لِكُلٍّ مِنْهُما عَلى شَكْلِ خُطّافٍ

ثَبِّتْ إِحْدى البَكَرَتَيْنِ في سَقْفِ بَوّابَةٍ أَوْ في عارِضَةٍ خَشَبِيَّةٍ مُرْتَفِعَةٍ بِمِسْمارٍ زَرَدَةٍ خُطّافيّ . أُرْبُطْ خَيْطًا مَتينًا في مِسْمارٍ زَرَدَةٍ مُجاوِرٍ لِمِسْمارِ تَعْليقِ البَكَرَةِ ثُمَّ أَمْرِرْهُ حَوْلَ البَكَرَتَيْنِ - السُّفْلى الَّتي سَتَحْمِلُ الثِّقْلَ والعُلْيا المُثَبَّتَةِ في السَّقْفِ - كَما تَرى في جانِبِ الصّورَةِ الأَيْسَرِ . عَلِّقْ ثِقْلاً مُناسِبًا في خُطّافِ البَكَرَةِ السُّفْلى

عِنْدَما تَشُدُّ الخَيْطَ لِرَفْعِ الثِّقْلِ المُعَلَّقِ مِنَ البَكَرَةِ السُّفْلى تُلاحِظُ أَنَّ قُوَّةَ الشَّدِّ اللازِمَةَ لِرَفْعِهِ تَقِلُّ كَثيرًا عَنْ وَزْنِهِ . والواقِعُ أَنَّ الشَّدَّ في هٰذِهِ الحالَةِ هُوَ حَوالى نِصْفِ وَزْنِ الثِّقْلِ المَرْفوعِ . ولٰكِنَّكَ هُنا أَيْضًا لا تَحْصُلُ عَلى « شَيْءٍ مِنْ لا شَيْءٍ » فَلِكُلِّ ديسيمِتْرٍ يَرْتَفِعُهُ الثِّقْلُ تَشُدُّ أَنْتَ بِالقُوَّةِ الأَخَفِّ مَسافَةَ ديسيمِتْرَيْنِ لِجَرِّ الخَيْطِ عَبْرَ البَكَرَتَيْنِ .

وتَسْتَطيعُ اسْتِخْدامَ عَدَدٍ أَكْثَرَ مِنَ البَكَراتِ في ذاتِ البَكَرِ . وكُلَّما زادَ عَدَدُ البَكَراتِ المُسْتَخْدَمَةِ تَقِلُّ قُوَّةُ الشَّدِّ اللازِمَةُ لِلقِيامِ بِالعَمَلِ . في البَكّارَةِ الرُّباعِيَّةِ البَكَراتِ (إِلى يَمينِ الصّورَةِ) تَنْخَفِضُ قُوَّةُ الشَّدِّ اللازِمَةُ لِرَفْعِ الثِّقْلِ إِلى حَوالى رُبْعِ وَزْنِهِ فَقَطْ . لٰكِنَّكَ تَجُرُّ الخَيْطَ مَسافَةَ أَرْبَعَةِ ديسيمِتْراتٍ عَبْرَ البَكَراتِ لِكَيْ تَرْفَعَ الثِّقْلَ مَسافَةَ ديسيمِتْرٍ واحِدٍ





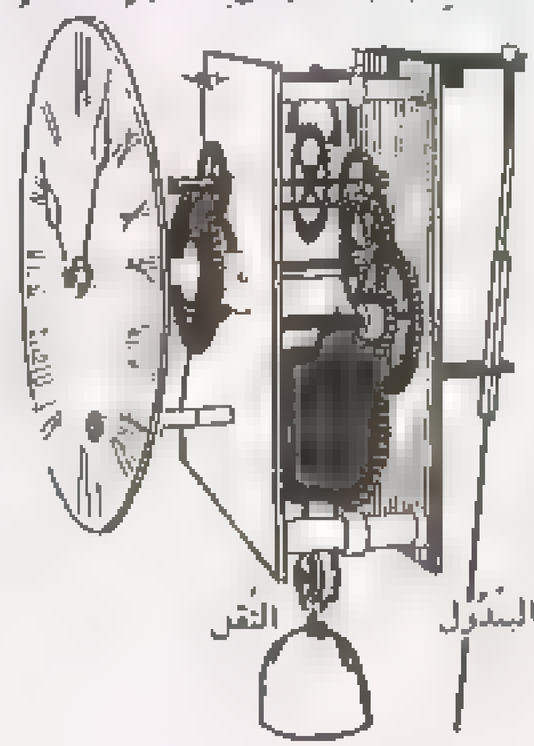
المُسَنَّنات (التُّروسُ المُسَنَّنَةُ)

تَضُمُّ آلِيَّةُ السّاعَةِ مَجْموعَةً مِنَ المُسَنَّناتِ، وهِيَ تُروسٌ مُسَنَّنَةُ الحَوافِّ المُحيطِيَّةِ تَتَشابَكُ أَسْنانُها بَعْضُها مَعَ بَعْضٍ. والتُّروسُ في آلَةِ السّاعَةِ مُخْتَلِفَةُ الأَحْجامِ والأَشْكالِ وهِيَ مُنَظَّمَةٌ بِحَيْثُ تَتَحَرَّكُ العَقارِبُ الَّتي تُديرُها بِسُرْعاتٍ مُتَفاوِتَةٍ. فَبَيْنَما يَدورُ عَقْرَبُ السّاعَةِ الكَبيرُ مَرَّةً كُلَّ ساعَةٍ يَدورُ العَقْرَبُ الصَّغيرُ مَرَّةً كُلَّ اثْنَتَيْ عَشْرَةَ ساعَةً.

إذا لَمْ يَتَوافَرْ لَدَيْكَ شَيْءٌ مِنْ هٰذِهِ التُّروسِ لِتُجْرِيَ عَلَيْها اخْتِباراتِكَ فَبِإِمْكانِكَ صُنْعُ بَعْضٍ مِنْها مِنَ العُلَبِ المُسْتَديرَةِ المُسَطَّحَةِ (كَعُلَبِ الجُبْنِ مَثَلاً) والوَرَقِ المُمَوَّجِ. خُذْ عُلْبَتَيْنِ مُخْتَلِفَتَيِ الحَجْمِ مِنَ العُلَبِ المُسَطَّحَةِ وضَعْ حَوْلَ مُحيطَيْهِما شَريحَتَيْنِ مِنَ الكَرْتونِ المُمَوَّجِ جاعِلاً عَرْضَ الشَّريحَةِ الكَرْتونِيَّةِ مُساوِيًا لِعَرْضِ حافَّةِ العُلْبَةِ. اثْقُبْ في سَطْحِ كُلِّ عُلْبَةٍ ثَقْبًا في المَرْكَزِ تَمامًا ثُمَّ ثَبِّتْهُما بِمِسْمارَيْنِ رَفيعَيْنِ فَوْقَ لَوْحٍ خَشَبِيٍّ بِحَيْثُ تَدورانِ بِحُرِّيَّةٍ وأَسْنانُهُما مُتَشابِكَةٌ كَتُرْسَيْ آلَةٍ.

عُدَّ الأَسْنانَ في مُحيطِ كُلٍّ مِنْ تُرْسَيِ اللَّوْحِ وعَلِّمِ السِّنَّيْنِ المُتَشابِكَتَيْنِ بِخَطٍّ مُمَيَّزٍ. دَوِّرِ التُّرْسَ الصَّغيرَ دَوْرَةً كامِلَةً ثُمَّ عُدَّ الأَسْنانَ الَّتي دارَها التُّرْسُ الكَبيرُ.

إنَّ التُّرْسَ الكَبيرَ يَدورُ طَبْعًا عَدَدًا مِنَ الأَسْنانِ مُساوِيًا لِما في مُحيطِ التُّرْسِ الصَّغيرِ مِنْها. فَبِكُلِّ دَوْرَةٍ كامِلَةٍ يَدورُها التُّرْسُ الكَبيرُ يَدورُ التُّرْسُ الصَّغيرُ عِدَّةَ مَرّاتٍ تَبَعًا لِلنِّسْبَةِ بَيْنَ عَدَدِ الأَسْنانِ في مُحيطِ كُلٍّ مِنْهُما. كَذٰلِكَ تُلاحِظُ أَنَّ التُّرْسَيْنِ يَدورانِ في اتِّجاهَيْنِ مُتَخالِفَيْنِ، وهٰذا الأَمْرُ يُسْتَفادُ مِنْهُ في عَكْسِ حَرَكَةِ دَوَرانِ الآلَةِ.



أَضِفْ تُرْسًا ثالِثًا إلى التُّرْسَيْنِ المُثَبَّتَيْنِ فَوْقَ اللَّوْحِ الخَشَبِيِّ وأَعِدِ التَّدْويرَ. لاحِظِ التَّغَيُّرَ في السُّرْعَةِ وفي اتِّجاهِ الحَرَكَةِ.



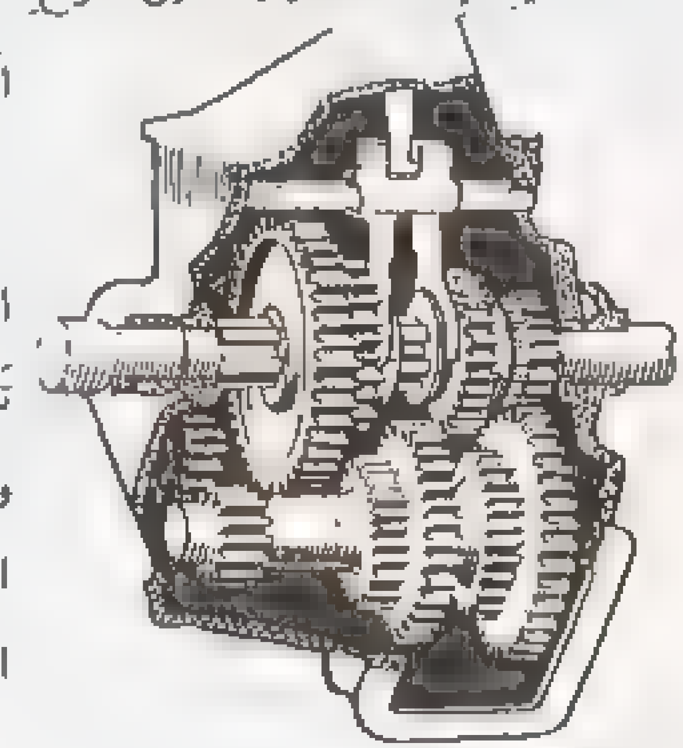
مجموعات التروس

تؤدي مجموعات التروس المختلفة دورًا أساسيًا في أنواع كثيرة من الآلات ويتلخص عملها عادة في جعل الأجزاء المختلفة من الآلة أو المكنة تدور بسرعات مختلفة أو تتحرك باتجاهات مختلفة. وعندما تشد ذراع عكس الحركة في مكنة ذات مجموعة تروس فإنك تعشق مسننات أخرى مع الترس الذي يدوره المحرك وكذلك عند تغيير السرعة في السيارة فإنما تغير ترتيب التروس المعشقة في علبة تروس السرعة

ولا تكون التروس بالضرورة متماسة دائمًا لتتعشق أسنانها مباشرة، إذ يمكن الوصل بين أسنان ترسين بسلسلة ملائمة لنقل الحركة من واحد إلى الآخر. والتأثير هو نفسه من حيث تباين السرعتين كما لو كان الترسان معشقين مباشرة لكن اتجاه الدوران يبقى هو نفسه في الترسين الموصولين بسلسلة.

والمثل المألوف على ترسين موصولين بسلسلة لنقل الحركة هو في الدراجة. اقلب دراجتك رأسًا على عقب ولاحظ كيف يعمل الترس الكبير الذي تدوره الدواستان على تدوير الترس الصغير، المثبت في العجلة الخلفية، بالسلسلة. ألصق قطعة ورق على إطار العجلة الخلفية وعد الدورات التي تدورها تلك العجلة لدورة واحدة من الدواستين. إذا كانت دراجتك من النوع المتعدد السرعات فغير السرعة وعد الدورات التي تدورها العجلة في كل مرة.

إنك تبذل القليل من الجهد حينما تدفع الدراجة بيديك (وأنت تمشي بجانبها)، بينما تبذل جهدًا أشد على الدواستين لتسييرها وهكذا فإن الدراجة تعمل وكأنها آلة تصعب العمل - وهذا غير مستغرب حين تتذكر أن الجهد الأشد هو الثمن الذي تدفعه للسرعة الأكثر.



داخل علبة التروس
(في محرك سيارة)



أَلْعابُ الخِفَّةِ بِالحَرَكَةِ

ضَعْ وَرَقَةَ لَعِبٍ قَديمَةً عَلى فُوَّهَةِ كَأْسٍ فارِغَةٍ ثُمَّ ضَعْ فَوْقَها قِطْعَةَ نَقْدٍ مَعْدِنِيَّةً . انْقُرْ زاوِيَةَ الوَرَقَةِ مِنْ فَوْقِ الكَأْسِ بِحِذْقٍ - فَتَطيرُ الوَرَقَةُ بَعيدًا . لكِنَّ قِطْعَةَ النَّقْدِ تَبْقَى في مَكانِها وَتَسْقُطُ في الكَأْسِ. لِماذا ؟

وهُنالِكَ لُعْبَةٌ أُخْرَى مِنَ القَبيلِ نَفْسِهِ يُجْرِيها المُحْتَرِفونَ عَلى المَسارِحِ (ولا نَنْصَحُكَ بِتَجْرِبَتِها) إِذْ يَسْحَبُ الواحِدُ مِنْهُمْ غِطاءَ المِنْضَدَةِ بِحَرَكَةٍ مُفاجِئَةٍ وتَبْقَى الصُّحونُ والمَلاعِقُ والشُّوَكُ والكُؤوسُ في أَماكِنِها هَلْ تَدْري لِماذا ؟

وتَخْطُرُ بِالبالِ أَسْئِلَةٌ عَديدَةٌ . لِماذا يَنْدَفِعُ رُكّابُ الحافِلَةِ إِلى الخَلْفِ عِنْدَما تَنْطَلِقُ الحافِلَةُ فَجْأَةً إِلى الأَمامِ ؟ ولِماذا يَسْقُطُ الجُنْدِيُّ في الصّورَةِ المُقابِلَةِ نَحْوَ مُقَدِّمَةِ الشّاحِنَةِ عِنْدَ إِيقافِها فَجْأَةً ؟ ولِماذا يَسْقُطُ الفارِسُ مِنْ فَوْقِ رَأْسِ فَرَسِهِ عِنْدَما يَتَوَقَّفُ الفَرَسُ فَجْأَةً أَمامَ حاجِزٍ أَوْ سِياجٍ ؟

إِنَّ الجَوابَ الوَحيدَ لِكُلِّ هٰذِهِ الأَسْئِلَةِ هُوَ قُوَّةُ الاسْتِمْرارِ أَوْ ما نُسَمّيهِ أَحْيانًا بِالعَطالَةِ . وقَدْ عَرَّفَ السّير إِسْحَقُ نيوتُن العالِمُ البريطانِيُّ المَشْهورُ العَطالَةَ مُنْذُ حَوالَى ثَلاثِمائَةِ عامٍ في قانونِهِ الأَوَّلِ لِلْحَرَكَةِ الّذي يَقولُ فيهِ : يَظَلُّ الجِسْمُ في حالَةِ سُكونٍ أَوْ حَرَكَةٍ مُنْتَظَمَةٍ في خَطٍّ مُسْتَقيمٍ ما لَمْ تُؤَثِّرْ عَلَيْهِ قُوَّةٌ خارِجِيَّةٌ

في الحالَةِ الأُولى كانَتْ قِطْعَةُ النَّقْدِ ساكِنَةً . ولَمّا نَقَرْتَ وَرَقَةَ اللَّعِبِ مِنْ تَحْتِها تَحَرَّكَتِ الوَرَقَةُ وظَلَّتْ قِطْعَةُ النَّقْدِ ساكِنَةً وفي حالَةِ الجُنْدِيِّ الدُّمْيَةِ والشّاحِنَةِ كانَ الجُنْدِيُّ يَتَحَرَّكُ مَعَ الشّاحِنَةِ ، فَلَمّا أُوقِفَتِ الشّاحِنَةُ اسْتَمَرَّ الجُنْدِيُّ في حَرَكَتِهِ بِقُوَّةِ الاسْتِمْرارِ فَسَقَطَ عَلى خَطٍّ مُسْتَقيمٍ في الاتِّجاهِ الّذي كانَ يَتَحَرَّكُ فيهِ .





لِماذا سَقَطَتِ التُّفَّاحَةُ

يُحْكَى عَنِ السِّير إسْحَق نيُوتُن أنَّهُ كانَ مَرَّةً جالِسًا تَحْتَ شَجَرَةِ تُفَّاحٍ فَسَقَطَتْ تُفَّاحَةٌ فَوْقَ رأْسِه ولَو وَقَعَتْ هٰذِهِ الحادِثَهُ لِشَخْصٍ آخَرَ فلَعَلَّهُ كانَ يَضْحَكُ و يَأْكُلُ التُّفَّاحَةَ دُونَ إعْطاءِ الأَمْرِ مَزِيدًا مِنَ التَّفْكِيرِ. لكِنْ نيُوتُنَ العالِمَ أَخَذَ يَتَساءَلُ لِماذا سَقَطَتِ التُّفَّاحَةُ ؟ والبَعْضُ قَدْ يَجِدُونَ مِثْلَ هٰذا السُّؤالِ سَخِيفًا لأَنَّ سُقُوطَ الأَشْياءِ هُوَ أمْرٌ طَبِيعِيٌّ عادِيٌّ - لكِنْ لِماذا تَسْقُطُ الأَشْياء ؟

بَعْدَ تَفْكِيرٍ عَمِيقٍ تَوَصَّلَ نيُوتُن إلى آسْتِنْتاجٍ مُلَخَّصُهُ أنَّ التُّفَّاحَةَ سَقَطَتْ نَتِيجَةً لِشَدِّ الأَرْضِ لَهَا أيْ لأَنَّ الأَرْضَ جَذَبَتْها - وقُوَّةُ الشَّدِّ هٰذِهِ هِيَ جاذِبِيَّةُ الأَرْضِ .

إنَّ جاذِبِيَّةَ الأَرْضِ هِيَ الَّتِي تَشُدُّنا إلى الأَرْضِ كَما تَشُدُّ كُلَّ شَيْءٍ عَلَيْها . وهٰذِهِ الجاذِبِيَّةُ شَبِيهَةٌ نَوْعًا بِجاذِبِيَّةِ المَغْنَطِيسِ لِمِسْمارٍ حَدِيدِيٍّ. فَعِنْدَما تَقْفِزُ أَنْتَ إلى أَعْلَى فإنَّ جَذْبَ الأَرْضِ لَكَ هُوَ الذِي يَشُدُّكَ إلى أَسْفَل

وفِيمَا يَلِي سَنُورِدُ لَكَ تَجْرِبَتَيْنِ لِبَيانِ كَيْفِيَّةِ تأْثِيرِ جاذِبِيَّةِ الأَرْضِ عَلَى سُلُوكِ الأَجْسامِ السَّاقِطَةِ . أَسْقِطْ طابَةَ كرِيكِت وكُرَةً زُجاجِيَّةً مِنَ الارْتِفاعِ نَفْسِهِ في الوَقْتِ نَفْسِهِ ولاحِظْ كَيْفَ أنَّهُما تَبْلُغانِ الأَرْضَ مَعًا

ضَعْ مِسْطَرَةً عَلى صَفْحَتِها العَرِيضه قَرِيبًا مِنْ حَرْفِ الطّاوِلَة وطَرَفُها بارِزٌ قَلِيلاً ضَعْ قِطْعَةً مَعْدِنِيَّةً على طَرَفِ المِسْطَرَةِ البارِزِ وقِطْعَةً أُخْرَى بَيْنَ المِسْطَرَةِ وحافَّةِ الطّاوِلَة كَما في الصُّورَةِ المُقابِلَة . انْقُرِ المِسْطَرَةَ بِحِدَّةٍ فَتَسْقُطَ القِطْعَةُ المَعْدِنِيَّةُ الَّتِي عَلى طَرَفِ المِسْطَرَةِ عَمُودِيًّا بِقُوَّةِ الاسْتِمْرارِ، بَيْنَما تَسْقُطُ الأُخْرَى، في مَسارٍ قَوْسِيٍّ بِدَفْعِ المِسْطَرَة . بَعِيدًا عَنِ الطّاوِلَةِ لَقَدْ بَدَأَتِ القِطْعَتانِ سُقُوطَهُما مَعًا والغَرِيبُ أنَّهُما في هٰذِهِ الحالَةِ أيْضًا تَبْلُغانِ الأَرْضَ في اللَّحْظَةِ نَفْسِها مَعَ أنَّ إحْداهُما قَطَعَتْ مَسافَةً أطْوَلَ .







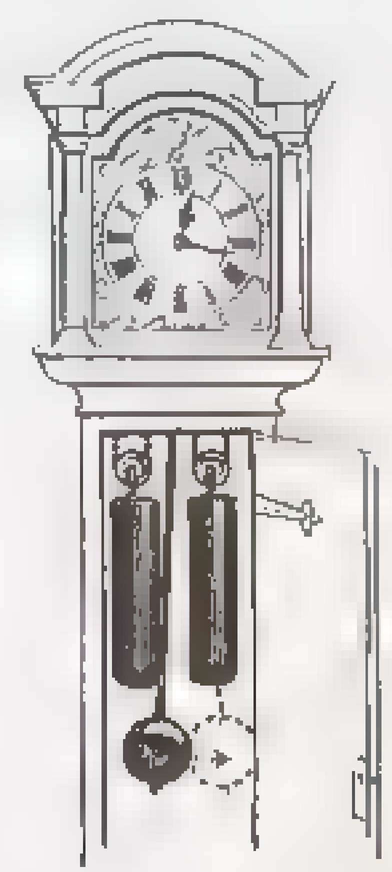
البَنْدُولُ (الرَّقّاصُ)

إذا واتاكَ حَظٌّ وزُرْتَ مُتْحَفَ العُلُومِ في لَنْدَنَ فإنَّكَ سَتَرى إلى الجِهَةِ اليُسْرى مِنْ دِهْلِيزِ المَدْخَلِ الرَّئيسيِّ البَنْدُولَ الشَّهيرَ فيهِ. وهُوَ عِبارَةٌ عَنْ كُرَةٍ ضَخْمَةٍ، مُعَلَّقَةٍ بِسِلْكٍ طَويلٍ مِنْ سَقْفِ المَبْنى العالي، تَتَأَرْجَحُ بِبُطْءٍ ذَهابًا وإيابًا. وإلى جانِبِ البَنْدُولِ الضَّخْمِ تِمْثالُ رَجُلٍ يُمْسِكُ بِبَنْدُولٍ في يَدِهِ. ذلِكَ هُوَ تِمْثالُ العالِمِ الإيطاليِّ غالِيليُو.

لَقَدْ كانَ غالِيليُو أَوَّلَ مَنِ اكْتَشَفَ قَوانينَ البَنْدُولِ، فَوَجَدَ أنَّ زَمَنَ الذَّبْذَبَةِ الكامِلَةِ لِلْبَنْدُولِ ثابِتٌ ما دامَ طُولُهُ ثابِتًا (طالَ قَوْسُ الذَّبْذَبَةِ أمْ قَصُرَ). أمّا إذا قَصُرَ طُولُ البَنْدُولِ فإنَّهُ يَتَرَجَّحُ بِسُرْعَةٍ أكْثَرَ.

ارْبُطْ جِسْمًا ثَقيلًا بِخَيْطٍ مِنْ طُولٍ مُناسِبٍ وعَلِّقْهُ عالِيًا حَتّى يَتَسَنّى لِلثِّقْلِ المُعَلَّقِ التَّأَرْجُحُ بِحُرِّيَّةٍ. أَرْجِحِ البَنْدُولَ وراقِبْ عَقارِبَ السّاعَةِ لِتَعُدَّ الذَّبْذَباتِ الكامِلَةَ الّتي يَتَأَرْجَحُها البَنْدُولُ في دَقيقَةٍ مِنَ الزَّمَنِ. قَصِّرْ طُولَ البَنْدُولِ إلى النِّصْفِ وأَعِدْ عَدَّ الذَّبْذَباتِ في الدَّقيقَةِ. سَتُلاحِظُ أنَّهُ كُلَّما قَصُرَ البَنْدُولُ ازْدادَ تَرَدُّدُهُ - أيِ ازْدادَ عَدَدُ الذَّبْذَباتِ الّتي يَتَأَرْجَحُها في وَحْدَةِ الزَّمَنِ.

ولَقَدْ أدّى اكْتِشافُ غالِيليُو لِثَباتِ زَمَنِ الذَّبْذَبَةِ في البَنْدُولِ إلى اسْتِخْدامِ البَنْدُولِ في صُنْعِ السّاعاتِ الدَّقيقَةِ لِلْمَرَّةِ الأُولى في تاريخِ قِياسِ الوَقْتِ. إنَّ ساعاتِ الأَبْراجِ الكَبيرَةَ والسّاعاتِ الجِدارِيَّةَ المُعَلَّقَةَ مِنْها وذاتَ الخَزائِنِ تَحْتَوي كُلُّها عَلى بَنْدُولاتٍ. انْظُرْ داخِلَ ساعَةٍ جِدارِيَّةٍ مُعَلَّقَةٍ أوْ خِزانِيَّةٍ لِتَرى البَنْدُولَ فيها.



عَلِّقْ بَنْدُولَيْنِ مُتَساوِيَيِ الطُّولِ ومُتَساوِيَيِ الثِّقْلِ مِنْ خَيْطٍ غَيْرِ مَشْدُودٍ. أَرْجِحْ أَحَدَ البَنْدُولَيْنِ كَما تَرى في الصُّورَةِ وراقِبِ الاسْتِجابَةَ المُدْهِشَةَ لِذلِكَ في البَنْدُولِ الآخَرِ.



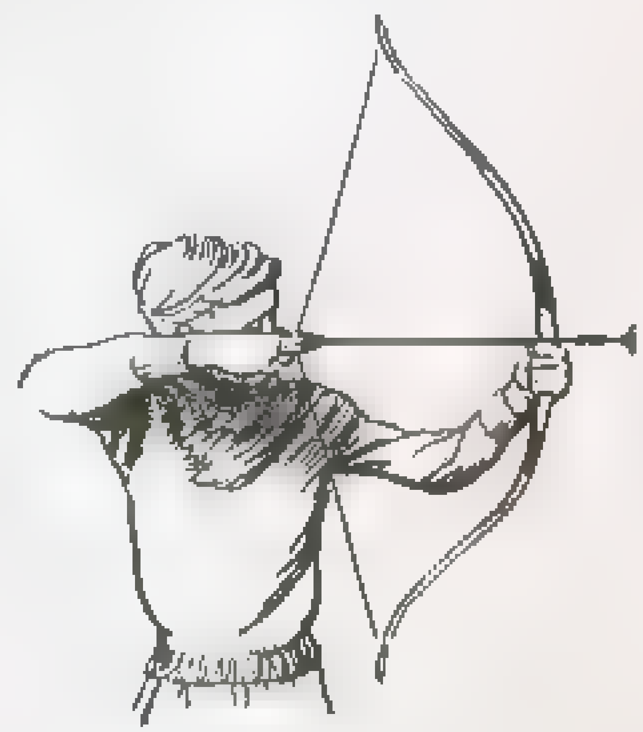
المُرُونَةُ والنَّابِضُ (الزُّنبرك)

أَسْقِطْ طَابَةً مِنَ المَطَّاطِ عَلى أَرضٍ مُبَلَّطَةٍ أَوْ مَرْصُوفَةٍ مِنَ ٱرْتِفاعِ الكَتِفِ ولاحِظْ الارْتِفاعَ الَّذي تَرْتَدُّ إِلَيْهِ بَعْدَ ٱصْطِدامِها بالأَرْضِ . أَعِدِ التَّجْرِبَةَ مُسْقِطًا مِنَ العُلُوِّ نَفْسِهِ كُلَّةً مِنَ الزُّجاجِ وكُرَيَّةَ مَحْمِلٍ فُولاذِيَّةً وكُرَةً مِنَ البلاستيسين . إِنَّ كُلًّا مِنَ الكُلَّةِ الزُّجاجيَّةِ وكُرَيَّةِ الفُولاذ سَتَرْتَدّانِ بِقُوَّةٍ ، ولَعَلَّهُما تَرْتَفِعانِ إلى عُلُوٍّ يَفُوقُ العُلُوَّ الَّذِي ٱرْتَدَّتْ إِلَيْهِ الكُرَةُ المَطَّاطِيَّةُ . أَمَّا كُرَةُ البلاستيسين فإِنَّها تَلْزَقُ في الأَرْضِ ولا تَرْتَدُّ

إذا ثَنَيْتَ مِمْحاةً مِنَ المَطَّاطِ وسَيَّبْتَها فإِنَّها تَقْفِزُ مُرْتَدَّةً إلى وَضْعِها الأَصْلِيِّ ، ونَحْنُ نَصِفُ مِثْلَ هٰذِهِ الأَجْسامِ بأَنَّها مَرِنَةٌ . والجِسْمُ الأَكْثَرُ مُرُونَةً هُوَ الَّذِي يَرْتَدُّ بِسُرْعَةٍ أَشَدَّ ؛ وهٰكَذا يَكُونُ الزُّجاجُ والفُولاذُ أَشَدَّ مُرُونَةً مِنَ المَطَّاطِ كَما تَبَيَّنَ مِنْ إِسْقاطِ الكُراتِ المُخْتَلِفَةِ . أَمَّا البلاستيسين فإِنَّهُ عَدِيمُ المُرُونَةِ .

عِنْدَما يَصْطَدِمُ الجِسْمُ المَرِنُ بالأَرْضِ يَنْفَعِلُ شَكْلُهُ بِتَأْثِيرِ الصَّدْمَةِ (بِسُرْعَةٍ يَصْعُبُ مَعَها تَبَيُّنُ ذٰلِكَ) ، ولٰكِنَّهُ يَنْدَفِعُ مُرْتَدًّا عَنِ الأَرْضِ ومُسْتَعِيدًا شَكْلَهُ الأَصْلِيَّ

وهٰذِهِ هِيَ الخاصَّةُ المُطَبَّقَةُ في النَّابِضِ (الزُّنبرك) الَّتي تُفَسِّرُ تَسْمِيَتَهُ بالنَّابِضِ سُلُوكَهُ المَعْرُوفَ . ويُصْنَعُ النَّابِضُ بِحَيْثُ إِنَّهُ إذا ضُغِطَ أَوْ سُحِبَ أَوْ لُوِيَ حاوَلَ ٱسْتِعادَةَ شَكْلِهِ الأَصْلِيِّ عِنْدَ زَوالِ المُؤَثِّرِ . والقَوْسُ هِيَ نَوْعٌ مِنَ النَّوابِضِ . كَذٰلِكَ تُسْتَخْدَمُ النَّوابِضُ في مُخْتَلِفِ أَنْواعِ المَكَناتِ والمُحَرِّكاتِ والسَّاعاتِ وغَيْرِها . حاوِلْ أَنْ تَعُدَّ النَّوابِضَ المَوْجُودَةَ في مُخْتَلِفِ أَجْزاءِ دَرَّاجَتِكَ .





الدَّوّامَةُ والجيروسكُوب

حينَما تَبرُمُ الدَّوّامَةُ بِسُرعةٍ فإنَّها تَبدُو وكأنَّ قُوَّةً غَريبَةً تَتحكَّمُ بِها. جَرِّبْ ذلكَ ولاحِظْهُ بِنَفْسِكَ. الْمِسِ الدَّوّامَةَ بإصبَعِكَ وهِيَ تَبرُمُ بِسُرعةٍ. إنَّها تَتحرَّكُ ولكنَّها لا تَتحرَّكُ في الاتِّجاهِ الّذي تُريدُهُ أنتَ.

وهذا السُّلوكُ الغَريبُ يَبدُو بِوُضوحٍ أكثَرَ في عَجلَةِ (أو دُولابِ) دَرّاجَةٍ. وتَرى في الصُّورَةِ المُقابِلَةِ وَلَدًا يَحمِلُ عَجَلَةَ دَرّاجَةٍ تَدورُ بِسُرعةٍ وهُوَ مُمسِكٌ بِمِحوَرِ دَورانِها. إنَّهُ يَجِدُ مُقاوَمَةً مِنَ العَجَلَةِ الدّائِرَةِ حينَما يُحاوِلُ تَغييرَ اتِّجاهِها. لَقَدِ اهتَمَّ العُلَماءُ بِهذِهِ الظّاهِرَةِ الغَريبَةِ لِلأجسامِ المُدَوَّمَةِ لأنَّ العالِمَ بِطَبيعَةِ الحالِ يَهتَمُّ بِخَواصِّ الأشياءِ وسُلوكِها. وقَدْ تَبيَّنَ بالواقِعِ والاختِبارِ أنَّ مِحوَرَ الجِسمِ المُدَوَّمِ يَحتَفِظُ باتِّجاهِهِ دائمًا

وتَخضَعُ الأرضُ نَفسُها لِهذا القانونِ الطَّبيعيِّ - فَهِيَ تَدوِّمُ حَولَ نَفسِها بِسُرعةٍ كَدَوّامَةٍ ضَخمَةٍ مَرَّةً كُلَّ أربَعٍ وعِشرينَ ساعَةً، وتَحتَفِظُ بِمِحوَرِ دَورانِها الحالِيِّ دَوْمًا في اتِّجاهٍ ثابِتٍ نَحوَ النَّجمِ القُطبِيِّ.

إنَّ الجيروسكُوبَ الّذي يَبدُو مُدَوَّمًا فَوقَ قاعِدَتِهِ في الصُّورَةِ المُقابِلَةِ هُوَ في الحَقيقَةِ دَوّامَةٌ مِن نَوعٍ خاصٍّ مُحاطَةٌ بإطارٍ فُولاذِيٍّ يَرتَكِزُ مِحوَرُها عَلَيْهِ. وباستِطاعَةِ الجيروسكُوبِ التَّدويمُ لِفَترَةٍ طَويلَةٍ في أيِّ وَضعٍ. وهذا هُوَ سِرُّ عَمَلِ البُوصلَةِ الجيروسكُوبِيَّةِ في السُّفُنِ والطّائِراتِ. فَهِيَ بِتَدويمِها المُستَمِرِّ تُبقِي مِحوَرَها دائمًا في الاتِّجاهِ نَفسِهِ وبِذلِكَ يُمكِنُ استِخدامُها كَبَديلٍ لِلبُوصلَةِ.





الرَّكْضُ والقَفْزُ والقَذْفُ

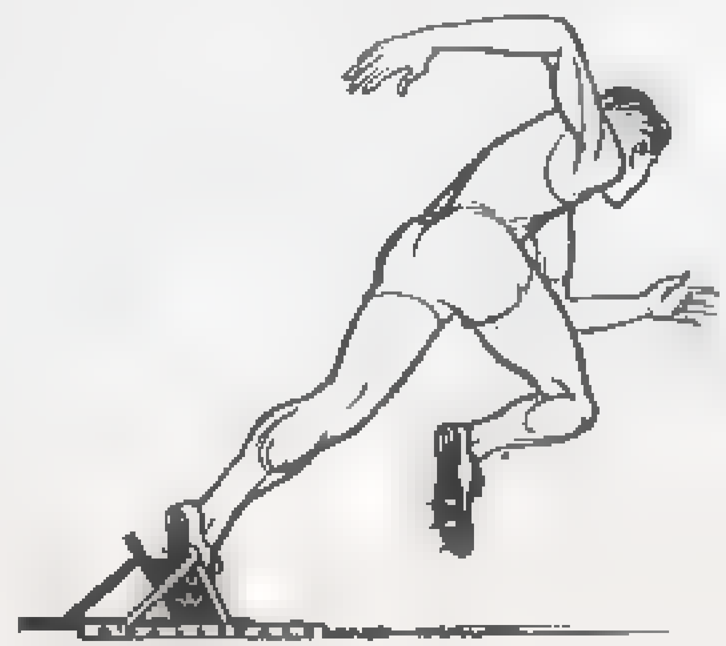
عِنْدَما تَمْشي أَوْ تَرْكُضُ فإنَّ جِسْمَكَ يَعْمَلُ كالآلةِ. إنَّكَ تَدْفَعُ نَفْسَكَ بِدَفْعِ الأَرْضِ بِقَدَمَيْكَ فَتَمْشي أَوْ تَرْكُضُ، والاحْتِكاكُ بَيْنَ قَدَمَيْكَ والأَرْضِ هُوَ الَّذي يُمَكِّنُكَ مِنَ التَّحَرُّكِ في الاتِّجاهِ المَقْصُودِ. حاوِلْ أَنْ تَرْكُضَ عَلى الجَليدِ الزَّلِقِ وسَتَرى أَهَمِّيَّةَ هذا الاحْتِكاكِ وضَرُورَتَهُ في حَياتِنا اليَوْمِيَّةِ.

والمَعْرُوفُ أَنَّ الرِّياضِيِّينَ العَدّائِينَ يَنْتَعِلُونَ أَحْذِيَةً ذاتَ نُتُوءاتٍ مِسْمارِيَّةٍ لِتُعِينَهُمْ عَلى الرَّكْضِ السَّريعِ. كَذلِكَ تُلاحِظُ مِثْلَ هذِهِ النُّتُوءاتِ المِسْمارِيَّةِ في الأَحْذِيَةِ الَّتي يَنْتَعِلُها لاعِبُو كُرَةِ القَدَمِ لِتَمْنَعَ انْزِلاقَهُمْ عَلى الأَرْضِ اللَّيِّنَةِ.

وحِينَما تُرِيدُ القَفْزَ فإنَّكَ تَدْفَعُ نَفْسَكَ بَعِيدًا عَنِ الأَرْضِ. وإذا أَرَدْتَ القَفْزَ مَسافَةً طَوِيلَةً فَعَلَيْكَ بِأَمْرَيْنِ - أَوَّلُهُما الرَّكْضُ بالسُّرْعَةِ القُصْوى قَبْلَ القَفْزِ وثانِيهِما أَنْ تَقْفِزَ إلى أَقْصى عُلُوٍّ تَسْتَطِيعُهُ. فما سَبَبُ ذلِكَ ؟

إنَّ القَفْزَ إلى العُلُوِّ الأَقْصى يُبْقِيكَ في الهَواءِ مُدَّةً أَطْوَلَ قَبْلَ أَنْ تَشُدَّكَ جاذِبِيَّةُ الأَرْضِ وتُعِيدَكَ إلى الأَرْضِ ثانِيَةً. وكُلَّما كانَتْ سُرْعَةُ انْطِلاقِكَ أَشَدَّ في فَتْرَةِ القَفْزِ هذِهِ زادَتِ المَسافَةُ الَّتي تَقْطَعُها في أَثْنائِها. ولَعَلَّهُ يُفِيدُكَ في أَثْناءِ تَدَرُّبِكَ عَلى القَفْزِ العَرِيضِ أَنْ تُرَكِّزَ قَضِيبًا رَفِيعًا فَوْقَ وِسادَتَيْنِ وتَقْفِزَ مِنْ فَوْقِهِ، وسَتُدْهَشُ لِطُولِ الوَثْبَةِ الَّتي سَتَتَمَكَّنُ مِنْ قَفْزِها

إذا قَذَفْتَ طابَةً باتِّجاهٍ عَمُودِيٍّ فإنَّها لا تَقْطَعُ أَيَّ مَسافَةٍ أُفُقِيًّا. وإذا قَذَفْتَها أُفُقِيًّا فإنَّها سُرْعانَ ما تَسْقُطُ إلى الأَرْضِ أَمّا إذا أَرَدْتَ قَذْفَ الكُرَةِ إلى المَدى الأُفُقِيِّ الأَقْصى فَعَلَيْكَ أَنْ تُصَوِّبَها في اتِّجاهٍ وَسَطٍ بَيْنَ العَمُودِيِّ والأُفُقِيِّ. إذَنْ لِقَطْعِ المَسافَةِ القُصْوى يَجِبُ أَنْ يَتَوَفَّرَ لِلْجِسْمِ المَقْذُوفِ سُرْعَةٌ وعُلُوٌّ سَواءٌ كانَ الجِسْمُ المَقْذُوفُ طابَتَكَ أَوْ جِسْمَكَ.





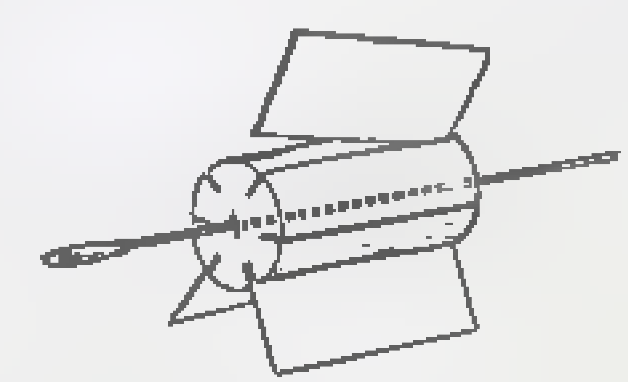
آلاتٌ تُدِيرُ آلاتٍ

اسْتَخْدَمَ الإنْسانُ الأوَّلُ آلاتٍ كالعَتَلَةِ (الرّافِعةِ) والدُّولابِ لِتَسْهيلِ أعْمالِهِ. ولكِنَّ تِلْكَ الآلاتِ ظَلَّتْ تَسْتَمِدُّ طاقَتَها المُحَرِّكةَ مِن قُوّةِ عَضَلاتِهِ. ثُمَّ عَنَّتْ لَهُ فِكْرَةٌ أفْضَلُ حِينَ ابْتَدَأَ بِتَسْخِيرِ الحَيَواناتِ لِلْقِيامِ بِأعْمالِ الحَمْلِ والنَّقْلِ والجَرِّ. فكانَ مِنَ الأسْهَلِ عَلَيْهِ طَبْعًا حَرْثُ الأرْضِ مُسْتَخْدِمًا حِصانًا أوْ ثَوْرًا لِجَرِّ مِحْراثِهِ بَدَلَ أنْ يَدْفَعَهُ بِنَفْسِهِ.

وكانَ طَحْنُ الحُبُوبِ لِتَهْيِئَةِ طَعامِهِ مِنَ المُهِمّاتِ الّتي ظَلَّ يُمارِسُها الإنْسانُ مُنْذُ أقْدَمِ العُصُورِ. أحْيانًا بِالهَرْسِ أوِ الدَّقِّ وأحْيانًا بِالجَرْشِ أوِ الطَّحْنِ بَيْنَ حَجَرَيِ الرَّحَى. ثُمَّ اسْتُخْدِمَتِ الحَيَواناتُ لِتَدْويرِ الطَّواحِينِ بَعْدَ أنْ تَوَصَّلَ الإنْسانُ إلى ابْتِكارِ نَوْعٍ مِنَ المُسَنَّناتِ الخَشَبِيّةِ البِدائِيّةِ لِنَقْلِ الحَرَكَةِ.

وجاءَتِ الخُطْوَةُ المُهِمَّةُ في مَراحِلِ تَطْويرِ الآلَةِ حِينَ فَكَّرَ الإنْسانُ بِاسْتِخْدامِ طاقَةِ الماءِ الجارِي أوِ السّاقِطِ لِتَدْويرِ طاحُونِهِ. وتَحَقَّقَ ذلِكَ بِاسْتِخْدامِ دُولابٍ ذي أرْياشٍ يُدَوِّرُهُ الماءُ ومَجْمُوعَةٍ مِنَ المُسَنَّناتِ البَسِيطَةِ التَّرْكِيبِ تَنْقُلُ حَرَكَةَ الدُّولابِ النّاعُورِيِّ لِتُدِيرَ حَجَرَ الطّاحُونِ. وهٰكَذا عَمِلَتْ آلَةٌ هِيَ الدُّولابُ عَلى تَدْويرِ آلَةٍ أُخْرى هِيَ حَجَرُ الرَّحَى.

بِإمْكانِكَ صُنْعُ نَمُوذَجٍ بَسِيطٍ لِدُولابٍ ناعُورِيٍّ مِنْ قِطْعَةِ فِلِّينٍ أُسْطُوانِيّةٍ وبَعْضِ الوَرَقِ المُقَوّى (الكَرْتُون). اقْطَعْ سِتّةَ أثْلامٍ أوْ شُقُوقٍ عَمُودِيّةٍ عَلى مَسافاتٍ مُنْتَظِمَةٍ مِنْ مُحِيطِ الفِلّينَةِ وأدْخِلْ في هٰذِهِ الشُّقُوقِ شَرائِحَ مُسْتَطِيلَةَ الشَّكْلِ مِنَ الكَرْتُون. اغْرِزْ في مَرْكَزِ الفِلّينَةِ الأُسْطُوانِيّةِ إبْرَةَ رَفْوٍ طَوِيلَةً كَمِحْوَرٍ لِدَوَرانِها. رَكِّبِ الفِلّينَةَ ومِحْوَرَ دَوَرانِها عَلى حامِلٍ سِلْكِيٍّ ذي عُرْوَتَيْنِ ومِقَصٍّ كَما في الشَّكْلِ. لَوِّثِ الكَرْتُونَ بِالبارافِينِ لِجَعْلِهِ صامِدًا لِلْماءِ. عَرِّضْ ناعُورَتَكَ لِتَيّارٍ خَفِيفٍ مِنْ ماءِ الصُّنْبُورِ فَوْقَ حَوْضِ المَغْسَلَةِ فَتَدُورُ النّاعُورَةُ بِطاقَةِ الماءِ السّاقِطِ فَوْقَ أرْياشِها.





الآلةُ البُخاريّة

تحتاجُ كلُّ آلةٍ إلى طاقةٍ لتشغيلها. فالنّاعورةُ تدورُ بقدرةِ الماءِ الجاري، والسفينةُ الشراعيّةُ أو الطاحونةُ الهوائيّةُ تسيرُ باستخدامِ قدرةِ الرّياحِ. ومكنةُ الخياطةِ مثلاً لا تعملُ ما لم تُمَدّ بالطّاقةِ، كأنْ يُدارَ مِقبضُها يدويًّا أو أنْ تُشغّلَها آلةٌ أخرى.

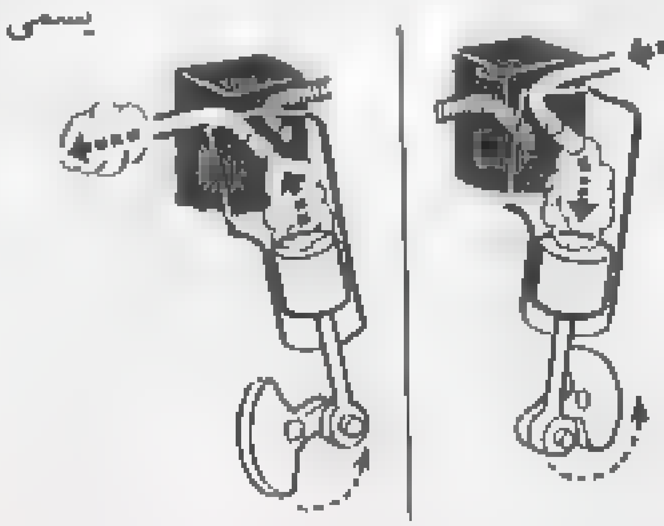
أمّا الآلةُ البُخاريّةُ الّتي ترى نموذجًا لها معَ الولدَيْنِ في الصّورةِ المقابِلةِ فتعملُ بالطّاقةِ الحراريّةِ. فالموقدُ الكحوليُّ يُغلي الماءَ في المِرجَلِ لتوليدِ البخارِ ويندفعُ البخارُ بالضّغطِ النّاتجِ في أنابيبَ خاصّةٍ إلى الأسطوانةِ ليدفعَ المِكبسَ والمِكبسُ يحرّكُ ذراعَ التّدويرِ وهذا يُدوّرُ الحذّافةَ (دولابَ تنظيمِ الحركةِ) وهكذا تعملُ الآلةُ بالطّاقةِ الحراريّةِ المُستخدَمةِ في توليدِ البخارِ.

لقدْ وضعَ اختراعُ الآلةِ البُخاريّةِ منذُ حوالي مئتَيْنِ وخمسينَ عامًا في تصرُّفِ الإنسانِ آلةً جديدةً عجيبةً كانتْ أقوى منَ الحصانِ، لا تتعبُ ولا تنامُ، وغذاؤها الفحمُ بدلاً منَ الشّعيرِ والشّوفانِ. وصارتْ قدرةُ المحرّكاتِ البُخاريّةِ تُقاسُ بقدرةِ الحصانِ، فالمحرّكُ الّذي يستطيعُ القيامَ بعملِ عشرةٍ منَ الخيلِ هوَ ذو قدرةِ عشرةِ أحصنةٍ.

ويُعتبَرُ اختراعُ الآلةِ البُخاريّةِ منَ الأحداثِ العُظمى في التّاريخِ، فقدْ تسنّى بها قيامُ المصانعِ للإنتاجِ السّريعِ والرّخيصِ، واستُخدِمتْ كذلكَ في تسييرِ السّفنِ والقطاراتِ لنقلِ الرّكّابِ والبضائعِ بسرعةٍ. لقدْ تغيّرَ نمطُ الحياةِ وأساليبُها نتيجةً لهذا الاختراعِ، وهذا التّغيُّرُ الحاسمُ الخارقُ هوَ ما يُسمّى في كتبِ التّاريخِ بالثّورةِ الصّناعيّةِ.

شوطُ الهبوطِ: يندفعُ البخارُ من المرجلِ إلى الأسطوانةِ عبرَ الأنابيبِ الموصلةِ فيضغطُ المكبسَ إلى أسفلَ ويُديرُ ذراعَ التّدويرِ ويُقفِلُ الأسطوانةَ إلى اليمين

شوطُ الصّعودِ: بعودةِ المكبسِ يصعدُ البخارُ المستعملُ وتعودُ الأسطوانةُ إلى وضعِها السّابقِ استعدادًا لتلقّي مزيدٍ من البخارِ المندفعِ.. وهكذا...





مُحرِّكُ الاحتِراقِ الداخِليّ

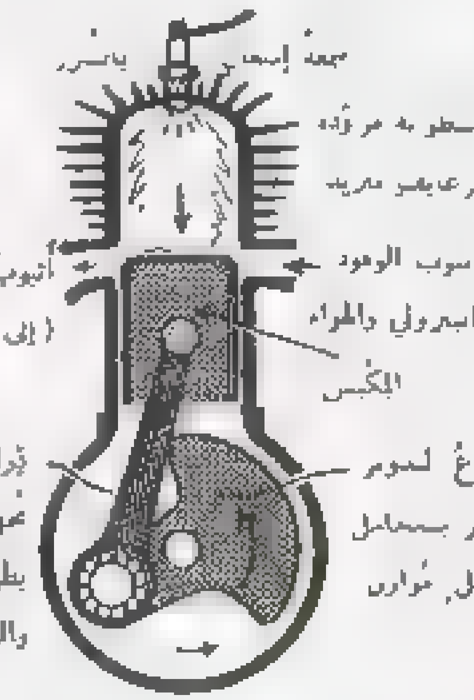
لَقَدْ أحدَثَ اختِراعُ الآلَةِ البُخارِيَّةِ انقِلابًا في أساليبِ المَعيشَةِ، ثُمَّ تَلاهُ اختِراعٌ آخَرُ لا يَقِلُّ أهمِّيَّةً عَنْهُ هُوَ اختِراعُ مُحَرِّكِ الاحتِراقِ الداخِليّ ـ وهُوَ مُحَرِّكٌ يُحرِقُ وَقودَهُ في داخِلِ الأُسطُوانَةِ أيْ إنَّهُ داخِليُّ الاحتِراق.

ونَذكُرُ بالمُناسَبَةِ أنَّ الآلَةَ البُخارِيَّةَ تَستَهلِكُ الفَحمَ أوِ البِترول لِتوليدِ البُخارِ الذي يَنضَغِطُ إلى الأُسطُوانَةِ لِتَحريكِ المِكبَس. فالاحتِراقُ يَجري هُنا خارِجَ الأُسطُوانَةِ بِخِلافِ الحالِ في المُحَرِّكِ الداخِليِّ الاحتِراقِ حَيثُ يُمزَجُ الوَقودُ البِترولِيُّ بالهَواءِ ثُمَّ يُحقَنُ المَزيجُ أو يُدَرُّ إلى داخِلِ الأُسطُوانَةِ وهُناكَ يُفَجَّرُ المَزيجُ بِشَرارَةٍ ويَدفَعُ المِكبَسَ

هذا النَّوعُ مِنَ المُحَرِّكاتِ هُوَ الذي يُستَخدَمُ في تَسييرِ السَّيّاراتِ والحافِلاتِ والشّاحِناتِ والدَّرّاجاتِ النّارِيَّةِ. وقَدْ أنهى استِخدامُهُ عَهدًا طَويلاً كانَ الحِصانُ فيهِ هُوَ وَسيلَةَ الجَرِّ والنَّقلِ المُثلى. أمّا وَقودُ هذا النَّوعِ مِنَ المُحَرِّكاتِ فهُوَ البِترولُ أوِ البنزين

واختِراعُ المُحَرِّكِ الداخِليِّ الاحتِراقِ مَهَّدَ لاختِراعِ الطّائِرَةِ. فالآلَةُ البُخارِيَّةُ تُعَدُّ ثَقيلَةً جِدًّا كَمُحَرِّكِ طائِرَةٍ مَهما تَفَنَّنّا في صُنعِها. وفي الصّورَةِ المُقابِلَةِ جُهِّزَتِ الطّائِرَةُ النَّموذَجِيَّةُ بِمُحَرِّكٍ صَغيرٍ داخِليِّ الاحتِراقِ لِتَدويرِ مِروَحَتِها

لَقَدْ زَوَّدَ مُحَرِّكُ الاحتِراقِ الداخِليُّ الطّائِرَةَ بِما هِيَ في أمَسِّ الحاجَةِ إلَيهِ ـ مُوَلِّدِ قُدرَةٍ خَفيفِ الوَزنِ وعالي الكَفاءَةِ لِتَدويرِ مِروَحَتِها وتَمكينِها مِنَ الطَّيَران.





التُّوربين (العَنَفَة)

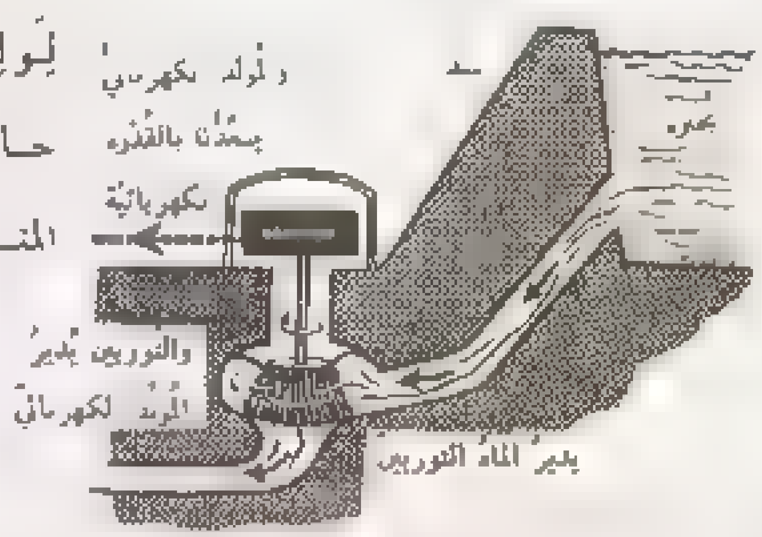
يُحاوِلُ الإنسانُ دائمًا تحسينَ الآلاتِ الّتي يَستخدِمُها وأحيانًا يَعودُ إلى فِكرةٍ قديمةٍ فيُطوِّرُها ويَستخدِمُها بأسلوبٍ جديدٍ. في الوقتِ الّذي كانت تُسخَّرُ فيهِ الطّاقةُ البُخاريّةُ لِتوليدِ القُدرةِ خطرَ لأحدِهِم استخدامُ البُخارِ لِتشغيلِ عَنَفةٍ توربينيّةٍ شبيهةٍ بالدُّولابِ النّاعوريّ. وقد تبيّنَ أنّهُ مِنَ المُمكِنِ إدارةُ دُولابٍ ذي أرياشٍ بتسليطِ نفثٍ بُخاريٍّ عليهِ وأدّى ذلكَ إلى اختِراعِ التُّوربينِ البُخاريّ

وترى في الصُّورةِ المُقابِلةِ شكلاً بدائيًّا مِن أشكالِ التُّوربينِ البُخاريّ. لقدِ استخدمَ الصّبيُّ الدُّولابَ النّاعوريَّ، الّذي صنعتَ مِثلَهُ (صفحة ٤٠)، لِيَعمَلَ كتوربينٍ. لاحِظْ كيفَ يُمسِكُ الدُّولابَ أمامَ نافورةِ البُخارِ المُندفِعةِ مِن بُلبُلةِ الإبريقِ في اتِّجاهٍ بعيدٍ عنهُ، وكيفَ استخدمَ طاقةَ النّافورةِ البُخاريّةِ في تدويرِ الدُّولابِ المُريَّشِ.

إنَّ التُّوربينَ البُخاريَّ الحقيقيَّ مُختلِفٌ جدًّا بطبيعةِ الحالِ عن هذا الدُّولابِ. فهوَ يتألّفُ مِن مِئاتِ الأرياشِ المُثبَّتةِ على جذعٍ أسطوانيٍّ محصورٍ تمامًا في غِلافٍ مُقفَلٍ. ويُستخدَمُ التُّوربينُ في تسييرِ السُّفُنِ وإدارةِ المُولِّداتِ في محطّاتِ توليدِ القُدرةِ الكهربائيّةِ وهوَ يمتازُ بدورانٍ سَلِسٍ مُنتظِمٍ وقُدرةٍ عاليةٍ

في التُّوربينِ الغازيِّ تُدارُ الأرياشُ بِنَفثٍ مِنَ الغازاتِ السّاخِنةِ المُتولِّدةِ مِنِ احتراقِ أنواعٍ خاصّةٍ مِنَ الوَقودِ. وهُنالِكَ نوعٌ مِنَ التُّوربيناتِ يُشغَّلُ بالطّاقةِ المائيّةِ، وهوَ يُستخدَمُ عادةً حيثُ تتوافرُ الطّاقةُ المائيّةُ الرّخيصةُ

في مناطِقِ مَساقِطِ المِياهِ أو حيثُ يُمكِنُ بِناءُ السُّدودِ لِحَصرِ مِياهِ الأنهُرِ والبُحيراتِ تُستخدَمُ التُّوربيناتُ المائيّةُ الضَّخمةُ لإدارةِ المُولِّداتِ الكهربائيّةِ. ومِثلُ هذهِ المحطّاتِ لِتوليدِ الطّاقةِ الكهربائيّةِ هي قيدُ الإنشاءِ حاليًّا في شتّى أنحاءِ العالَمِ وبخاصّةٍ في المناطِقِ الجبليّةِ.





المُحرِّكاتُ الكَهْرَبائِيَّةُ والمُحرِّكاتُ النَّفّاثَةُ

تُسْتَخْدَمُ الطّاقَةُ الكَهْرَبائِيَّةُ لِتَغْذِيَةِ المُحرِّكاتِ الكَهْرَبائِيَّةِ. فالطّاقَةُ الكَهْرَبائِيَّةُ تُدَوِّرُ المُحرِّكَ والمُحرِّكُ يُزَوِّدُنا بالقُدْرَةِ لِحاجاتِنا اليَوْمِيَّةِ. ومَجالاتُ اسْتِخْدامِ القُدْرَةِ الكَهْرَبائِيَّةِ لا حَصْرَ لَها فَقَدْ تُديرُ مَكَنَةَ حِلاقَةٍ أوْ تُشَغِّلُ مِكْنَسَةً كَهْرَبائِيَّةً أوْ تُسَيِّرُ قِطارَ رُكّابٍ.

وقَدْ يَكُونُ مَصْدَرُ الطّاقَةِ الكَهْرَبائِيَّةِ مُوَلِّداتٍ في مَحَطَّةِ تَوْليدِ القُدْرَةِ كَما هِيَ الحالُ حِينَما نَقْبِسُ المِكْنَسَةَ الكَهْرَبائِيَّةَ في مَأْخَذِ التَّيّارِ في الغُرْفَةِ أوْ حِينَما يَسيرُ قِطارٌ عَلى خَطٍّ حَديدِيٍّ مُكَهْرَبٍ. وتَحْمِلُ السَّيّارَةُ مُوَلِّدًا خاصًّا (هُوَ الدِّينامو) يُزَوِّدُها بالطّاقَةِ الكَهْرَبائِيَّةِ الّتي تَحْتاجُها. وقَدْ يَكُونُ مَصْدَرُ الطّاقَةِ بَطّارِيّاتٍ تُخْتَزَنُ فيها تِلْكَ الطّاقَةُ بِسُهولَةٍ لِحِينِ اسْتِعْمالِها.

نَحْنُ نَعيشُ اليَوْمَ فيما يُسَمّونَهُ أحْيانًا «عَصْرَ النَّفّاثاتِ» نِسْبَةً إلى اخْتِراعِ المُحرِّكِ النَّفّاثِ. فالطّائِراتُ ذاتُ المُحرِّكاتِ النَّفّاثَةِ تَطيرُ بِسُرْعاتٍ تَفوقُ كَثيرًا سُرْعاتِ الطّائِراتِ ذاتِ المَراوِحِ الّتي تُشَغِّلُها المُحرِّكاتُ ذاتُ المَكابِسِ. ويَتَلَخَّصُ عَمَلُ المُحرِّكِ النَّفّاثِ بِإحْراقِ مَزيجٍ مِنَ الكيروسينِ والهَواءِ لِتَوْليدِ غازاتٍ ساخِنَةٍ عالِيَةِ الضَّغْطِ؛ وبانْدِفاعِ هٰذِهِ الغازاتِ مِنْ مَنْفَثٍ في مُؤَخَّرَةِ المُحرِّكِ بِتَأْثيرِ الضَّغْطِ العالي تَعْمَلُ رَدَّةُ الفِعْلِ النّاتِجَةُ عَلى دَفْعِ المُحرِّكِ أمامًا.

وبِإمْكانِكَ إجْراءُ تَجْرِبَةٍ لِتَتَبَيَّنَ بِبَساطَةٍ طَريقَةَ عَمَلِ المُحرِّكِ النَّفّاثِ. انْفُخْ بالونًا ثُمَّ أطْلِقْهُ ولاحِظْ ما يَحْدُثُ. إنَّ ضَغْطَ الهَواءِ داخِلَ البالونِ يَضْغَطُ إلى الأمامِ عَلى جِسْمِ البالونِ، لكِنَّ الضَّغْطَ مُنْعَدِمٌ تَقْريبًا بِاتِّجاهِ فُوَّهَةِ البالونِ المَفْتوحَةِ. لِذٰلِكَ يَنْدَفِعُ البالونُ إلى الأمامِ. وفي الصّورَةِ المُقابِلَةِ تَرى كَيْفِيَّةَ اسْتِخْدامِ البالونِ في صُنْعِ زَوْرَقٍ يُسَيَّرُ بالدَّفْعِ النَّفّاثِ.





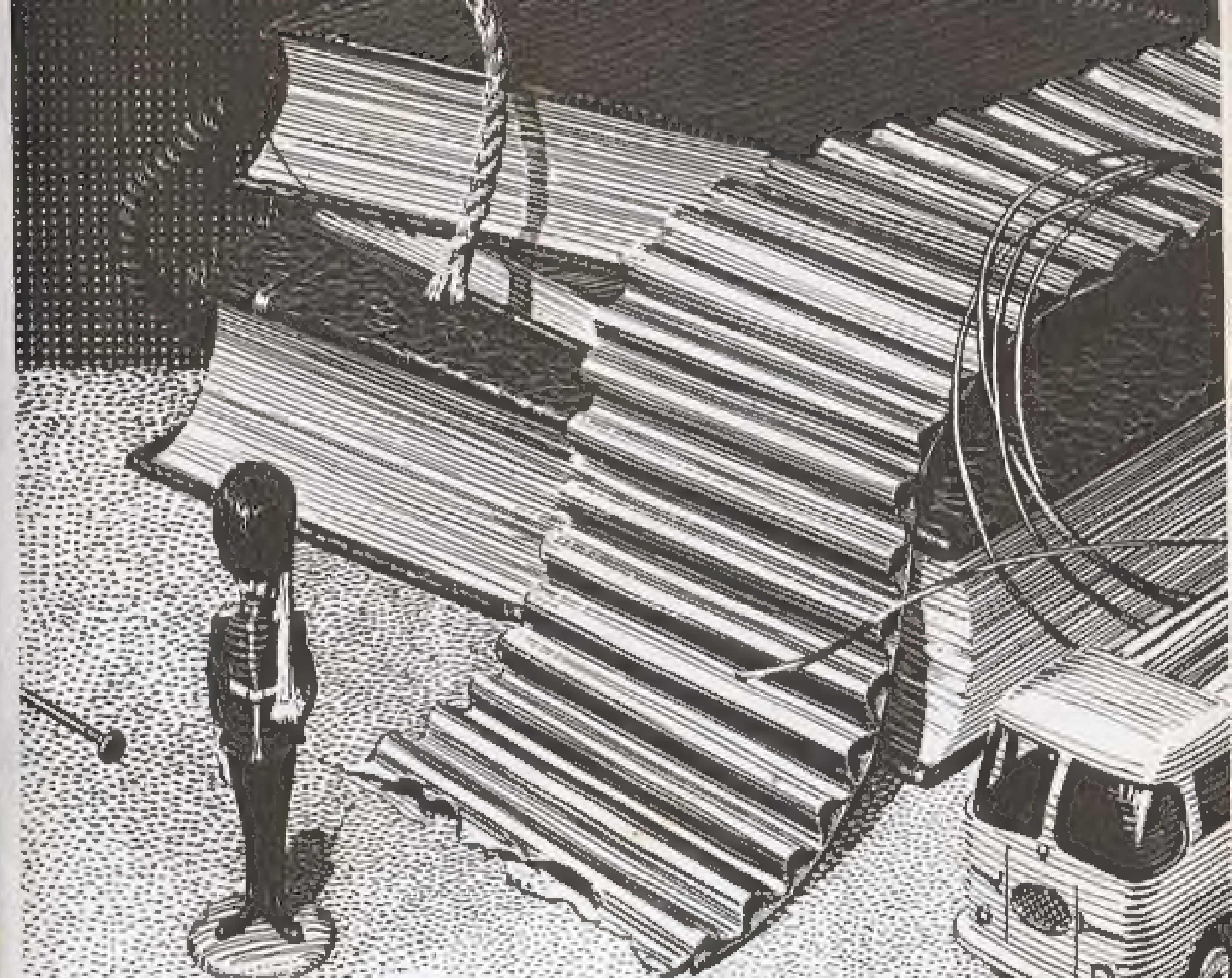
الصَّواريخُ الفَضائيَّةُ والذَّرَّةُ

لا تَستَطيعُ الطّائِرَةُ النَّفّاثَةُ الطَّيَرانَ في الفَضاءِ الخارِجيِّ لانْعِدامِ الهَواءِ اللاّزِمِ لإحْراقِ وَقودِها مِنَ الكيروسين. لِذٰلِكَ كانَ لا بُدَّ لِلطَّيَرانِ عَبْرَ جَوِّ الأرْضِ والانْطِلاقِ في الفَضاءِ الخارِجيِّ مِنْ إيجادِ شَكْلٍ آخَرَ مِنْ أشْكالِ القُدْرَة - وقَدْ جاءَ الجَوابُ في القُدْرَةِ الصّارُوخيَّةِ.

يَعْمَلُ الصّارُوخُ إلى حَدٍّ بَعيدٍ كالمُحَرِّكِ النَّفّاث - فَهُوَ يَنْفُثُ غازاتِهِ السّاخِنَةَ عَبْرَ مَنْفَثٍ في مُؤَخَّرَتِهِ ويَنْدَفِعُ هُوَ إلى الأمامِ بِرَدَّةِ الفِعْلِ النّاتِجَةِ. لكِنَّ الصّارُوخَ يَخْتَلِفُ في أنَّهُ يَحْمِلُ مَعَهُ لا وَقودَهُ فَقَطْ بَلْ أيْضًا الأُكسجينَ اللاّزِمَ لإحْراقِ ذٰلِكَ الوَقودِ. إنَّ الصّاروخَ الفَضائيَّ عَلى ضَخامَتِهِ وتَعْقيدِهِ لا يَخْتَلِفُ مِنْ حَيْثُ المَبْدَأ عَنِ الصَّواريخِ النّارِيَّةِ الّتي نُطْلِقُها احْتِفالاً في لَيالي المُناسَباتِ والأعْيادِ. والمُحَرِّكُ الصّارُوخيُّ هُوَ الوَسيلَةُ الّتي يَسْتَخْدِمُها الإنْسانُ حالِيًّا لِرِيادَةِ الفَضاءِ واسْتِكْشافِ أسْرارِهِ.

ومِنْ عَجائِبِ عَصْرِنا الأُخْرى الطّاقَةُ الذَّرِّيَّةُ. والعُلَماءُ جادّونَ في اكْتِشافِ مُخْتَلِفِ الوَسائِلِ والسُّبُلِ الكَفيلَةِ بِتَسْخيرِ هٰذِهِ الطّاقَةِ الهائِلَةِ في خِدْمَةِ الإنْسانِ. إنَّ الذَّرَّةَ جِسْمٌ مُتَناهي الصِّغَرِ حَتّى إنَّ نُقْطَةً بِحَجْمِ رَأسِ الدَّبّوسِ تَحْوي عِدَّةَ مَلايينَ مِنَ الذَّرّاتِ. لكِنَّ الطّاقَةَ الّتي يُمْكِنُ تَحْريرُها مِنَ الذَّرّاتِ هِيَ أكْبَرُ مِمّا لا يُقاسُ مِنْ أيِّ مَصْدَرٍ لِلطّاقَةِ جالَ في خاطِرِ الإنْسانِ.

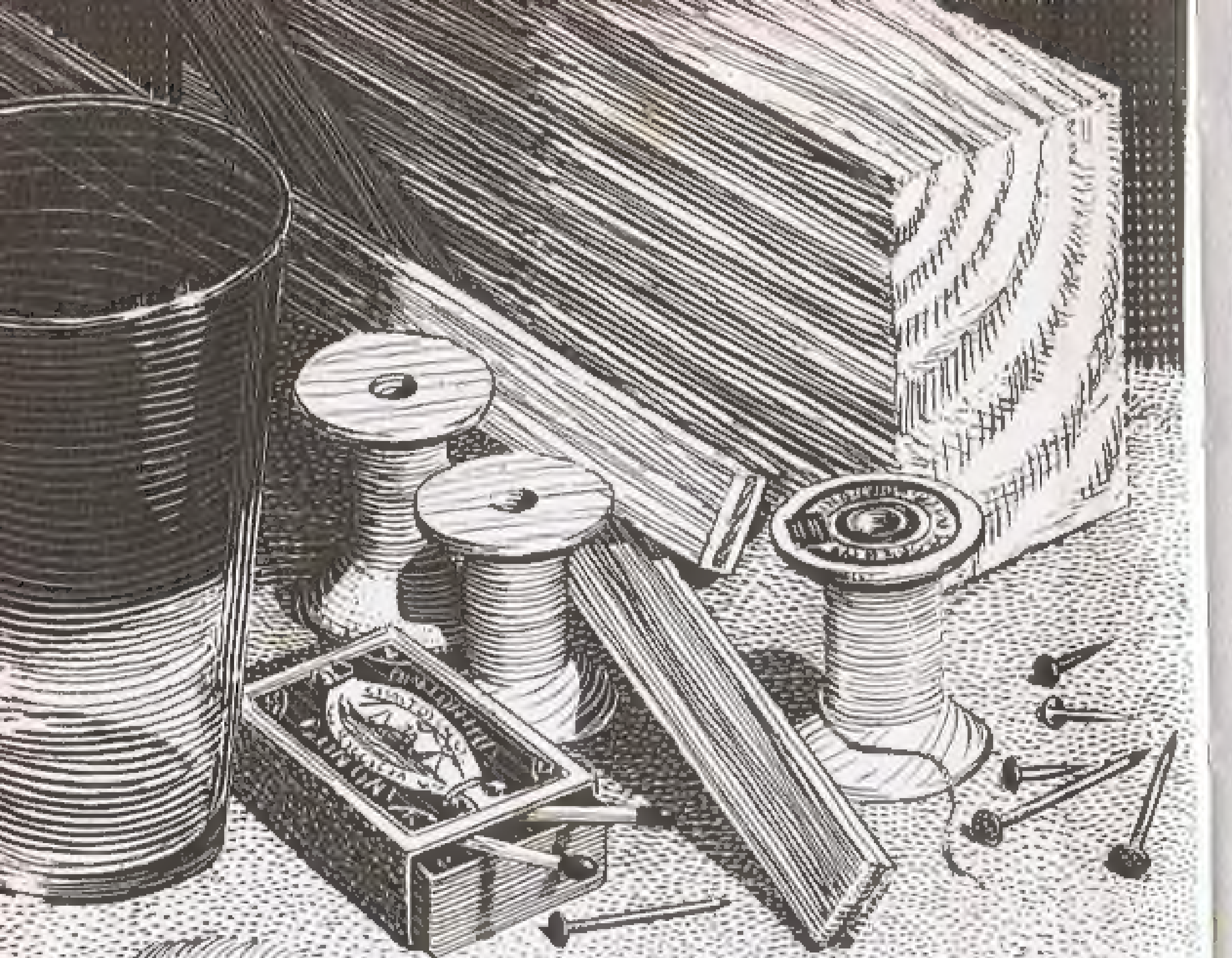
لَقَدِ ابْتَدَأَ الإنْسانُ بِقَطْعِ الصَّوّانِ لِيَصْنَعَ مِنْهُ آلاتِهِ. ثُمَّ اخْتَرَعَ العَتَلَةَ (الرّافِعَةَ) والدُّولابَ (العَجَلَةَ). ومُنْذُ اخْتِراعِ الآلَةِ البُخارِيَّةِ والتَّقَدُّمُ الرّائِعُ في صُنْعِ الآلاتِ لِتَخْفيفِ العَمَلِ يَتَزايَدُ بِتَسارُعٍ مُسْتَمِرٍّ. ولكِنْ حَتّى في أشَدِّ هٰذِهِ الآلاتِ المُعاصِرَةِ تَعْقيدًا وتِقْنِيَّةً تَبْقى العَتَلَةُ والدُّولابُ جُزْءَيْنِ أساسِيَّيْنِ.



إليكَ قائمةٌ بالأشياءِ التي تلزمُكَ لإجراءِ الاختباراتِ في هذا الكتابِ. ولعلَّ مُعظمَها مُتوافرٌ لديْكَ حاليًا.

مِسْطَرَة
كُتُب
أقلامٌ أُسطوانيّة
عُلبةُ بِقاب
طِينُ لدائِنَ (بلاستيسين)
قِطعُ نَقْدٍ مَعدِنيَّة
دبابيس
إبرةُ حِياكة
إبرةُ رَفْو
سِدادات فِلِّينيّة
كُؤوس أوْ أكواب
بَكَرَةُ (أوْ مِكبُّ) خيوط
حبّات مِنَ الأرُزّ





كُلَلٌ أوْ كُرَيَاتٌ زُجاجيّة
أغطِيَةُ عُلَبٍ مَعدِنيَّةٌ
بَكَرَةٌ وخُيُوطٌ مَتينة
كُتلةٌ وشَرائِحُ خَشَبيّة
جُنديٌّ دُمْيَة
بِكَبَات خُيُوطٍ فارِغة
سَفُّودانِ خَشَبيّان
مَسامير
سِلْكٌ لَيِّنٌ
خُيُوط ودُوبارَة (خَيْطٌ مَتين)
عُلَبٌ مُستديرة (أُسطوانيّة)
وَرَقُ كَرْتُونٍ مُسَطَّح
وَرَقُ لَعِبٍ
طابَةُ مَطّاط
بالُون صَمْغ



سِلْسِلَةُ «العُلوم المُبسَّطَة»

١ – مبادئ الكهرباء والمغنطيسيّة
٢ – طبيعةُ الضَّوء والآلات البَصريّة
٣ – طبيعة الهواء والطيران
٤ – الآلاتُ البسيطة والمُحرّكات

Series 621 / Arabic